

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
**«МОЛОДЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЫ.
СТАРТ НАУЧНОЙ КАРЬЕРЫ»**

IV INTERNATIONAL CONFERENCE
**«YOUNG PROFESSIONALS.
START OF A SCIENTIFIC CAREER»**

21-23 ОКТЯБРЯ

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ТЕКСТОВОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**IV Международная конференция
«Молодые профессионалы.
Старт научной карьеры»
IV International Conference
«Young Professionals.
Start of a scientific career»
21–23 октября 2025 г.**

Сборник научных трудов

Текстовое электронное издание

ИТМО



Санкт-Петербург
2025

УДК 004, 063, 065, 504

ББК 20, 32, 40

IV Международная конференция «Молодые профессионалы. Старт научной карьеры»/IV International Conference «Young Professionals. Start of a scientific career». Сборник научных трудов. [Электронный ресурс]: Текстовое электронное издание (12,8 Мб). СПб.: Университет ИТМО. 2025. 339 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, представленные на IV Международной конференции «Молодые профессионалы», состоявшейся с 21 по 23 октября 2025 года в Университете ИТМО, по тематикам: «Актуальные вопросы управления интеллектуальной собственностью», «Инфохимия междисциплинарный подход к фундаментальным», «Искусственный интеллект в задачах градостроительства», «Техническое зрение», «Междисциплинарные исследования наука и технологии для человека», «Технологический менеджмент и инновации» «Молекулярная биология и биотехнология», «Молодая медицина технологии, интеллект, трансформация», «Прикладные задачи анализа данных», «Современные лазерные технологии в промышленности, науке», «Физика наноструктур», «New Approaches to Consumer Behaviour Studies From Classical», «Хемоинформатика и биоинженерия от цифровых решений до практического применения», «Язык в эпоху алгоритмов вызовы для преподавания и исследования», «Комплексные исследования в современной науке».

Мероприятие проводится в рамках реализации гранта в форме субсидий из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ (Соглашение № 075-15-2025-536 от 30 мая 2025 г.).

Под общей редакцией профессора, доктора технических наук, проректора по научной работе Никифорова В.О.

ISBN 978-5-7577-0747-1

Минимальные системные требования:

Компьютер: процессор x86 с тактовой частотой 500 МГц и выше; ОЗУ 512 Мб; 8Мб на жёстком диске; видеокарта SVGA 1280x1024 High Color (32 bit); привод CD-ROM.

Операционная система: Windows XP/7/8 и выше.

Программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader версии 6 и старше.

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The 'I' and 'T' are connected, and the 'O' is a solid circle.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2025

© Авторы, 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Секция «Актуальные вопросы управления интеллектуальной собственностью и трансфера технологий»

Антипов А.А. доцент, к.филол.н., доцент центра развития института интеллектуальной собственности ИТМО;

Астанков К.С. директор информационно-вычислительного центра, заместитель директора Центра трансфера технологий ИТМО;

Мурашова С.В. к.э.н., центр развития института интеллектуальной собственности ИТМО;

Николаев А.С. к.э.н., директор, доцент Центра развития института интеллектуальной собственности, руководитель образовательного блока Центра трансфера технологий ИТМО.

Секция «Искусственный интеллект в задачах градостроительства и урбанистики»

Митягин С.А. к.т.н., директор института дизайна и урбанистики ИТМО;

Горнова Г.В. д.филол.н, доцент института дизайна и урбанистики ИТМО;

Балтыжакова Т.И. к.т.н., доцент института дизайна и урбанистики ИТМО.

Секция «Инфохимия: междисциплинарный подход к фундаментальным и практико-ориентированным исследованиям»

Скорб Е.В. д.х.н., директор научно-образовательного центра инфохимии ИТМО;

Семенов С.Н. PhD, профессор, Институт имени Вейцмана (Weizmann Institute of Science, г. Реховот, Израиль).

Секция «Комплексные исследования в современной науке»

Аббакумов В.Л. к.ф.-м.н., доцент, главный аналитик ГазпромНефть;

Бутылкина К.Д. к.т.н., инженер научно-исследовательского центра «Цифровые космические технологии» ИТМО;

Гамзинова Л.А. инженер учебного центра студенческой науки, конференций и выставок ИТМО;

Дмитриев П.И. к.т.н., руководитель отдела видеоаналитики ООО «НПП «Видеомикс»;

Жилкин Ф.И. генеральный директор ООО «Маймит АИ»;

Савельев А.Г. ООО «Умное пространство», руководитель группы развития технологий компьютерного зрения.

Секция «Междисциплинарные исследования: наука и технологии для человека»

Колозарики П.В. к.социол.н., директор Международного центра цифровых гуманитарных исследований ИТМО;

Могилевич М.Н. к.филол.н., заместитель директора ДН-центра ИТМО.

Секция «Молодая медицина: технологии, интеллект, трансформация / Young Medicine: Technology, Intelligence, Transformation»

Стрельченко Ю.И. доцент, доктор медицинских наук, профессор ДонГМУ;

Акуличева Е.А. главный внештатный анестезиолог-реаниматолог по акушерству и гинекологии Забайкальского края, заведующая отделением анестезиологии-реанимации Перинатального Центра ЗККБ, акушерский анестезиолог.

Секция «Молекулярная биология и инженерия»

Прилепский А.Ю. к.б.н., доцент, заведующий лабораторией «Биоактивные материалы для тканевой инженерии» ИТМО.

Секция «Прикладные задачи анализа данных»

Михайлова Е.Г. доцент, к.ф.-м.н., директор высшей школы цифровой культуры ИТМО;

Аббакумов В.Л. к.ф.-м.н., доцент, главный аналитик ГазпромНефть;
Графеева Н.Г. к.ф.-м.н., доцент высшей школы цифровой культуры ИТМО;
Дмитриев П.И. к.т.н., руководитель отдела видеоаналитики ООО «НПП «Видеомикс»;
Дубей Ашвани Кумар Dr., Ph.D. in Electrical Engineering, Amity School of Engineering & Technology (Индия);
Жилкин Ф.И. генеральный директор ООО «Маймит АИ»;
Малых В.А. к.т.н., доцент высшей школы цифровой культуры ИТМО, руководитель направления NLP-исследований MTS AI;
Назаренко А.А. разработчик алгоритмов Everypixel Media Innovation Group;
Савельев А.Г. ООО «Умное пространство», руководитель группы развития технологий компьютерного зрения;
Самарин А.В. к.ф.-м.н., старший преподаватель высшей школы цифровой культуры ИТМО, старший программист разработчик Вконтакте.

Секция «Прикладная оптика»

Романова Г.Э. к.т.н., доцент института «Высшая инженерно-техническая школа» ИТМО;
Бутылкина К.Д. к.т.н., инженер научно-исследовательского центра «Цифровые космические технологии» ИТМО;
Завгородний Д.С. начальник СКБ вычислительной оптики АО «ЛОМО»;
Иванов С.Е. к.т.н., руководитель проектов ООО Исследовательский Центр Самсунг;
Марчик В.А. начальник конструкторско-исследовательского отдела ОАО «Пеленг» (г. Минск, Беларусь);
Сечак Е.Н. к.т.н., начальник общеинженерного СКБ, начальник лаборатории оптических систем АО "ЛОМО".

Секция «Современные лазерные технологии в промышленности, науке и биомедицине»

Романова Г.В. к.т.н., директор института лазерных технологий ИТМО;
Синев Д.А. к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Института лазерных технологий ИТМО.

Секция «Техническое зрение»

Волынский М.А. к.т.н., доцент, директор научно-образовательной лаборатории «Техническое зрение» ИТМО;
Романова Г.Э. к.т.н., доцент института «Высшая инженерно-техническая школа» ИТМО.

Секция «Технологический менеджмент и инновации»

Шакина Е. к.э.н., заместитель декана, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций ИТМО;
Волков А.Р. старший преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций ИТМО;
Мыслякова Ю., научный редактор, выпускающий редактор AlterEconomics;
Стародубцев А.В. к.пол.н., заместитель декана факультета технологического менеджмента и инноваций ИТМО.

Секция «New Approaches to Consumer Behaviour Studies: From Classical Theories to User-generated content»

Горгадзе А.А. доцент факультета технологического менеджмента и инноваций ИТМО;
Бурков И.П. аспирант Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;
Шалыгина П.М. преподаватель факультета технологического менеджмента и инноваций ИТМО.

Секция «Физика наноструктур»

Иванов А.В. к.ф.-м.н., доцент, директор международного научно-образовательного центра физики наноструктур ИТМО;

Кунделев Е.В. к.ф.-м.н., доцент международного научно-образовательного центра физики наноструктур ИТМО;

Орлова А.О. д.ф.-м.н., ведущий профессор международного научно-образовательного центра физики наноструктур ИТМО.

Секция «Хемоинформатика и биоинженерия: от цифровых решений до практического применения»

Подшивалов А.В., к.х.н., директор центра химической инженерии ИТМО;

Носенко Т.Н. к.т.н., доцент центра химической инженерии ИТМО;

Грибиниченко Т.Н. заместитель директора центра химической инженерии ИТМО;

Фокина М.И., доцент, к.ф.-м.н., доцент Института химии СПбГУ.

Секция «Язык в эпоху алгоритмов: вызовы для преподавания и исследования »

Никуленко А.А. директор центра изучения иностранных языков ИТМО;

Юсупова Т.С. к.филол.н., преподаватель центра изучения иностранных языков ИТМО;

Сигаев А.С. преподаватель центра изучения иностранных языков ИТМО.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ И ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 347.77

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЗАЛОГУ ОИС В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ И В ГОССЕКТОРЕ

Бутенко С.Н. (магистрант, ИТМО)

Научный руководитель: кандидат экономических наук, доцент Мурашова С.В. (ИТМО)

e-mail: sergs.lvu@mail.ru

Статья рассматривает специфику использования объектов интеллектуальной собственности (ОИС) в качестве залога. Основная проблема — низкая ликвидность таких активов вследствие субъективности оценки, узкого круга покупателей и сложностей юридического отчуждения прав. В рыночной экономике успешная реализация заложенной ОИС не превышает 2%, что делает её малопривлекательной для банков и инвесторов. В государственном секторе ситуация лучше — внедрение ОИС в проекты и наличие госзаказов повышают шансы продажи до 20% и более.

Ключевые слова: залог ОИС, интеллектуальная собственность, ликвидность активов, оценка стоимости, государственный сектор, рыночная экономика.

В российской финансовой практике использование объектов интеллектуальной собственности (ОИС) в качестве предмета залога по кредитным обязательствам остаётся редкостью. Несмотря на закрепление правовых механизмов (ст. 1232 ГК РФ с 2008 г. [1], ст. 358.18 ГК РФ с 2014 г. [2]), этот инструмент не стал массовым. Причины заключаются в сочетании институциональных, рыночных, правовых и инфраструктурных барьеров. Ключевые проблемы:

- 1) низкая предсказуемость реализации — при дефолте заёмщика продажа исключительных прав зачастую не покрывает задолженность: потенциальный спрос узок, а процесс реализации осложнён судебными и регистрационными процедурами;
- 2) отсутствие единых методик оценки — рыночная стоимость определяется по разным подходам (затратному, доходному, сравнительному), результаты зависят от квалификации оценщика и подвержены завышениям;
- 3) сложность документального оформления и отчуждения — обязательная государственная регистрация залога и всех переходов прав, длительные сроки рассмотрения заявок Роспатентом, высокая вероятность формальных ошибок;
- 4) минимальная ликвидность — крайне ограниченный круг покупателей, отсутствие развитого вторичного и биржевого рынка, слабое присутствие специализированных электронных торговых платформ;
- 5) высокие транзакционные издержки — расходы на юридическое сопровождение, регистрационные пошлины, маркетинг ОИС и поиск инвесторов;
- 6) пробелы в правоприменении — отсутствие устойчивой и предсказуемой судебной практики, разнотолкование норм, что снижает доверие банков.

В залог допускаются только исключительные имущественные права. Личные неимущественные права, а также права, отчуждение которых запрещено (фирменное наименование, наименование места происхождения товара, географические указания), не подлежат залого. Динамика регистрации договоров залога:

- 1) 2009 — 16 договоров залога и последующего залога товарных знаков;
- 2) 2010 — 8 договоров на РИД; 62 договора на 195 товарных знаков (145 российских);
- 3) 2011 — 16 договоров на патенты; 52 договора на 280 товарных знаков (148 российских);
- 4) 2012 — 17 договоров на патенты; 24 договора на 82 товарных знака (75 российских).

После 2010 года фиксируется устойчивое сокращение сделок, что отражает сохраняющиеся проблемы: длинные процедуры регистрации, низкая рыночная востребованность и отсутствие полноценной инфраструктуры.

Риски и сложности для коммерческих банков и компаний-заемщика приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Риски и сложности участников**

Для коммерческого банка	Для компании-заемщика
Обесценивание ОИС вследствие технологических изменений, утраты конкурентоспособности	Высокие залоговые дисконты
Утрата прав собственности — прекращение действия патента или свидетельства по решению Роспатента или суда	Вероятность потери ключевого для бизнеса ОИС
Правовой риск — поддельные документы, возможность признания договора недействительным	Требование дополнительного высоколиквидного обеспечения
Недостаток квалификации сотрудников в сфере ОИС	Риск ухудшения рыночной стоимости ОИС в период залога — в результате изменений законодательства, появления более совершенных технологий или действий конкурентов, что может повлечь пересмотр условий кредитного договора
Отсутствие опыта кредитования под подобный залог	Ограничение свободы распоряжения ОИС — в период действия залога затруднены сделки по лицензированию или передаче прав третьим лицам, что может снизить гибкость управления активами и замедлить развитие бизнеса

Сложности: 1) реализация ОИС на рынке — нет развитых специализированных торговых площадок; 2) сложность адекватной оценки — дефицит информации, низкая квалификация, коррупционные факторы. Залог ОИС в РФ остаётся нишевым видом обеспечения. Массовое внедрение сдерживается низкой ликвидностью, отсутствием унифицированных методик оценки и инфраструктуры, а также низким доверием банков. Перспективы развития связаны с формированием единых стандартов оценки, запуском национальных платформ по продаже и лицензированию ОИС, повышением компетенций кредитных организаций и устойчивой судебной практикой [3].

В условиях глобальной конкуренции интеллектуальная собственность (ИС) всё больше рассматривается как стратегический ресурс. Патенты, товарные знаки, промышленные образцы, авторские и смежные права становятся активами, которые могут не только приносить доход через коммерциализацию, но и служить инструментом привлечения заемного капитала. Однако в практике российских банков залог ОИС до сих пор носит единичный характер из-за низкой ликвидности, отсутствия зрелой инфраструктуры оборота прав и сложностей объективной оценки. Производитель литий-ионных аккумуляторов, выигравший тендер на поставку продукции на условиях постоплаты, столкнулся с проблемой финансирования закупок материалов. «Кроме патентов, нам было нечего предложить банку» — заявил гендиректор Александр Логинов. «МСП банк» впервые принял исключительные права в качестве основного залога, оценив их по прогнозируемому рыночному потенциалу и предполагаемой будущей выручке. Ранее такие активы использовались банком только как дополнительное обеспечение. Мировая статистика показывает, что успешная коммерциализация переданных в залог объектов ИС составляет не более 2% всех сделок. В отличие от залога недвижимости или оборудования, здесь почти всегда требуется заранее определенный покупатель или лицензиат, иначе актив быстро теряет ценность. Ключевые трудности:

- 1) риск переоценки стоимости и недооценка темпов устаревания технологии;

- 2) высокая стоимость, ограничивающая круг потенциальных покупателей;
- 3) сложность юридического и технического отчуждения прав;
- 4) длительные сроки регистрации и реализации, снижающие привлекательность;
- 5) конкуренция с материальными активами, привычными и более прогнозируемыми для банков.

В США залоги ИС развиваются с 1990-х, начиная с секьюритизации прав на музыку (Дэвид Боуи, 1997 г.). Изначально инструментом пользовались музыкальная и киноиндустрия, фармацевтические, телекоммуникационные компании, производители медтехники. Сегодня акцент сместился на сектор высоких технологий, полупроводники и цифровую связь. Основные участники — частные и инвестиционные банки, венчурные фонды. В ЕС применяются унифицированные директивы, а в отдельных странах действуют биржи и онлайн-платформы продажи прав. В Сингапуре работает государственная программа кредитования под залог патентов с независимой экспертизой и частичной государственной гарантией, что снижает риски для кредиторов и упрощает доступ компаний к финансированию. По данным Европейского патентного ведомства, наличие патентов увеличивает вероятность получения финансирования на 20%. ИС укрепляет капитализацию компаний, улучшает конкурентные позиции и формирует доверие инвесторов. Для высокотехнологичных предприятий это часто единственный существенный залоговый актив. Направления развития в РФ:

- 1) введение института независимой квалифицированной экспертизы инновационных проектов;
- 2) формирование стимулирующих мер для развития рынка ОИС (налоговые льготы, субсидии);
- 3) устранение правовых пробелов и адаптация банковских стандартов к нематериальным активам;
- 4) создание информационной и консультационной поддержки для бизнеса по работе с ИС.

Залог интеллектуальной собственности способен стать полноценным инструментом финансирования в России, но требует комплексных реформ. Эффективность таких сделок достигается только при наличии четкой стратегии монетизации, достоверной оценки стоимости и заранее определенного заинтересованного покупателя или партнёра. Без этих условий залог ИС остается высокорисковым и малоликвидным, уступая по привлекательности традиционным видам обеспечения [4].

В государственном секторе кредитование под залог объектов интеллектуальной собственности (ОИС) имеет более высокую устойчивость и низкие риски по сравнению с частным рынком. Это связано с интеграцией ОИС в продукцию и технологии госкомпаний, наличием гарантированных госзаказов и программ целевой поддержки. Вероятность успешной реализации актива здесь достигает 20% и более, тогда как в частном секторе — около 2%. Ключевые преимущества госсектора:

- 1) совмещение функций заказчика, инвестора и регулятора;
- 2) наличие государственных гарантий и субсидий;
- 3) система централизованного учета и контроля прав ИС;
- 4) прямое стимулирование оборота ОИС через программы поддержки.

Система госгарантий для МСП (пример США) через содействие малому бизнесу (BVA) гарантирует:

- 1) до 80% суммы по небольшим кредитам;
- 2) до 75% суммы по крупным кредитам сроком до 25 лет.

При дефолте BVA не претендует на ОИС, что снижает риски банков и побуждает их кредитовать инновационные проекты.

Япония: банк развития Японии (DBJ) напрямую кредитует МСП с ИС без иных залогов, проводит секьюритизацию ОИС, привлекая коммерческие банки через ассоциации кредитных гарантий. Швеция: частный сектор ограничен строгими требованиями банков к залогам. Государство выдает небольшие кредиты со страховыми гарантиями, но рост таких программ

без частного участия повышает нагрузку на бюджет. В мировом масштабе кредитование под залог ОИС уже является устоявшейся практикой. Опыт Китая в практике кредитования под залог ОИС приведен в таблице 2.

Таблица 2. Китайский опыт госсектора в рамках кредитования под залог ОИС

Механизм	Преимущества	Недостатки
Прямое вмешательство (Нэйцзян, Сяньтан, Нанкин) — государство определяет заемщиков и контролирует сделки	Высокая эффективность и простота	Все риски на банках, риск коррупции, слабая рыночность
Субсидирование (Шанхай, Чэнду) — компенсация ставок и убытков (в Чэнду 90% риска у государства)	Доступ стартапов	Преимущественно краткосрочные кредиты
Комплексная поддержка (Пекин, Ухань) — нормативная база, гарантийные фонды, разделение рисков	Рыночный подход	Стартапы уступают компаниям с кредитной историей
Спецэкономзоны (Suzhou Industrial Park) — фонд финансирования ИС, фонд защиты ИС, суд по ИС, пилотная зона оценки, центр защиты прав	Инновационность, поддержка ИС, инвестиционная привлекательность	Высокие затраты, ограниченность масштабирования, бюрократизация

Системы кредитования под залог ОИС формируются двумя основными способами:

- 1) самозарождение — под влиянием интересов банков (эффективное вложение средств) и заемщиков (расширение базы залога). Правила формируются крупными игроками и постепенно закрепляются на законодательном уровне. Яркий пример — США;
- 2) организация сверху — государство разрабатывает правила и инструменты стимулирования, предлагая их рынку в готовом виде, сопровождая субсидированием и гарантиями. Пример — КНР. В мировой практике ключевое значение имеют специализированные общества (SPE/SPV), эффективно управляющие инвестиционными потоками. В Нидерландах и Люксембурге на них приходится 75–90% потоков ПИИ, в Австрии и Венгрии — 35–85%.

Для России более реалистичен второй путь — организация системы сверху. Для ее формирования необходимы согласованные действия на макроуровне:

- 1) стимулирование создания новых ОИС и бизнеса на их основе;
- 2) совершенствование законодательства;
- 3) разработка полного комплекта сопутствующих документов;
- 4) создание инфраструктуры оборота ОИС и систем защиты прав.

Ключевой фактор успеха — сочетание государственной инициативы, активного вовлечения финансового сектора и формирования специализированных институтов, подобных Suzhou Industrial Park в Китае, с фондами финансирования и защиты ИС, собственным судом по ИС и центрами оценки [5].

Список использованных источников

1. «Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвёртая)» от 18.12.2006 №230-ФЗ (ред. от 13.06.2023, с изм. от 14.12.2023).
2. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвёртая)» от 30.11.1994 №51-ФЗ (ред. от 31.07.2025, с изм. от 01.08.2025).
3. Масленкова О.Ф. Залог исключительных прав на объекты интеллектуальной собственности в России: актуальный научно-практический комментарий правоприменения // Вестник СПбГУ. Серия 14. Право. 2017. №. 1. С. 108–118.
4. Григорьева Е.М., Семенова К.Э., Рижутин М.С. Потенциал использования интеллектуальной собственности в залоговом механизме // Вестник Академии знаний. 2025. №. 4 (69). С. 172–182.
5. Фомин В.Г. Международный опыт кредитования среднего и малого бизнеса под залог объектов интеллектуальной собственности: участие и роль государства // Имущественные отношения в РФ. 2018. №. 2 (197). С. 46–53.

УДК 608.1

МОТИВАЦИЯ ПАТЕНТОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ШКОЛЬНОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КРУЖКЕ

Екимовская А.А. (студент, Благотворительный фонд «Образование+», МАИ)

Научный руководитель: д.т.н., с.н.с. Лебедев В.В. (БФ «Образование+»)

e-mail: any_ekimovskaya03@mail.ru

Из курса обучения в средней школе и многих вузов выпал важный раздел, связанный с защитой результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Когда приходит осознание актуальности этого направления работы, оказываются упущенными множество прав на технические решения. Проведённый в течение трёх лет авторский эксперимент доказал возможность раннего обучения патентной деятельности в рамках школьного научно-технического кружка с одновременным повышением мотивации к этому направлению.

Ключевые слова: патент, патентование, интеллектуальная собственность, изобретение, полезная модель, новизна, мотивация, обучение, школьный кружок.

Введение

Студенческая научно-исследовательская работа является непрерывным продолжением патентного направления деятельности, которое появилось в школьном научно-техническом кружке «Юный физик – умелые руки» более десяти лет назад. Но качественное изменение работы и отношения школьников и студентов к патентованию разработанных технических предложений произошло два-три года назад. Появился закономерный вопрос о причине резкого повышения внимания обучающихся к патентной деятельности. Казалось бы, школьники и студенты загружены совершенно другими проблемами и конкретными задачами. Например, ученики выпускных классов общеобразовательных школ думают о Государственной итоговой аттестации и о поступлении в вузы, поэтому им физически не хватает времени для освоения или хотя бы первичного вникания в сложную систему патентного законодательства и делопроизводства. У студентов первого курса ВУЗа происходит ломка динамического стереотипа, переход от школьного процесса обучения к зачётной системе с освоением экзаменационных сессий. Но даже в таких напряженных условиях работы обучающиеся нашли время и возможность дополнительно к учебному плану заниматься не только научно-техническим творчеством в студенческих научных обществах и школьных научно-технических кружках, но ещё и отвлечься на патентную деятельность. Такое отвлечение за два года работы стало настолько существенным, что теперь каждый обучающийся перед публичным оглашением полученных результатов задумывается и оценивает возможность патентования разработанных технических решений.

Патентная деятельность является многогранной, требует обязательного внимания и руководства к обучающимся со стороны специалиста, причём не формального, в виде часто не действующих отделений патентной работы вуза, а фактического, с непрерывным общением в среде изобретателей, а ещё лучше, патентоведов. При таком общении постепенно начинается осознание широты и сущности патентной деятельности. Цель этой научно-исследовательской работы намного более узкая, чем общая проблема государственного патентного образования и развития этого вида деятельности, необычной особенно для школы. Цель работы заключается в выяснении причин и резкого, качественного, положительного скачка в патентной деятельности только единиц обучающихся и разработка рекомендаций для дальнейшего масштабирования положительного опыта.

Основной научный задел для выполнения работы базируется на результатах первичной организации патентной деятельности в школьном научно-техническом кружке с внедрением в практику такой же первичной программы обучения работы с интеллектуальными достижениями. Но если ещё год назад речь шла об увеличении количества заявок на патенты на изобретения и полезные модели, то буквально в последний год появилась новизна деятельности, которая требует отдельного научного анализа. Новизна работы выражена новым авторским термином «Линейка изобретений», предлагаемым к обсуждению среди

специалистов. Сразу надо отметить, что это не группа изобретений или полезных моделей с несколькими независимыми пунктами или, тем более, с несколькими зависимыми пунктами. Такого термина нет в научно-технической литературе, в чём легко убедиться, набрав ключевые два слова в любой информационной поисковой системе.

Для обсуждения предлагается не форма нового понятия «Линейка изобретений», а содержание и, как оказалось, многогранная сущность этого понятия: учебная, методическая, патентная, техническая, психологическая и пр. Практическая значимость работы обоснована на качественных результатах-следствиях, к которым привело внедрение в практику новой методики патентной работы с обучающимися.

Анализ литературы и базовый задел по работе

Объект изучения – школьный и студенческий научно-технический кружок как составная часть студенческого научного общества вуза.

Предмет изучения – активность патентной деятельности обучающихся, школьников и студентов.

Анализ литературы по объекту и предмету изучения выполнен в четырёх направлениях с целью обоснования сущности нового учебно-методического и патентного термина «Линейка изобретений»:

1. Государственные мероприятия для повышения внимания к результатам интеллектуальной деятельности обучающихся.
2. Инициативные учебно-организаторские мероприятия школьно-студенческого кружка как первичного звена исполнителей государственной политики.
3. Психологические основы появления нового термина «Линейка изобретений».
4. Обучающийся как субъект методической реализации сущности нового термина «Линейка изобретений» с масштабированием комплексного положительного эффекта.

Источники информации государственных структур

В этой области есть две группы оперативных источников информации, необходимых для каждого изобретателя, без которых патентная деятельность практически невозможна.

Во-первых, это материалы Всероссийского практикума «Твоя интеллектуальная собственность», НОЦ, Роспатент-ФИПС, 11–22 ноября 2024 года, проведенного в дистанционной форме обучения в объёме 24 акад. ч. Ссылки на запись вебинаров находятся в свободном доступе, к материалу можно обращаться в любое удобное время [1]. Анализ этих вебинаров, к которым подключились многие школьники и студенты (более 6000 участников), в очередной раз доказал правомерность и необходимость введения нового авторского термина «Линейка изобретений». Сущность этого термина будет раскрыта постепенно, но пока интуитивно воспринимается как что-то непрерывное и связанное. На первом вебинаре Начальник Научно-образовательного центра (НОЦ) Федерального института промышленной собственности (ФИПС) Денис Викторович Монастырский невольно употребил этот термин, когда демонстрировал первый попавшийся под руку предмет, бутылочку с питьевой водой, показывая товарные знаки и промышленные образцы [1, вебинар №1, 11.11.2024]. Докладчик сказал, что в одном предмете может находиться несколько охраняемых результатов интеллектуальной деятельности (РИД). Однако, авторская критика такого повествования, как прототипа по аналогии с изобретениями и полезными моделями, связана с разрозненностью объектов интеллектуальной собственности: бутылочку делает один производитель, товарный знак зарегистрировал другой, географическое указание привёл третий, пробку доработал четвёртый, саму воду добывает пятый, и так далее. В предлагаемом авторском новом термине «Линейка изобретений» строго оговаривается, что автором нескольких охранных объектов является одно и то же лицо. Следовательно, читая охранные документы в «Линейке изобретений», обязательно должен присутствовать один и тот же автор, индивидуально или в соавторстве, но сначала, как будет сказано далее, индивидуально. Сразу надо оговориться, что слово «изобретение» в новом термине «Линейка изобретений» является условным, означает любую интеллектуальную собственность. Это слово выбрано автором исключительно из-за его краткости и понятности обывателю, не специалисту в области патентной работы.

Патентное законодательство и делопроизводство буквально пестрит длинными терминами и формулировками, которые обыватель, школьник или студент, даже читать не станет из-за их сложности и громоздкости. Значит, при разработке нового термина первая задача – максимально упростить произношение термина и его быстрое восприятие. Программа Всероссийского практикума «Твоя интеллектуальная собственность» доказывает правильность предлагаемого авторского подхода к широкому, комплексному пониманию слова «изобретение», потому что в течение двух недель различными специалистами рассматривалось множество понятий интеллектуальной собственности, в том числе изобретения и полезные модели [1].

Во-вторых, 5 октября вышло Постановление Правительства РФ №1278 об изменениях в патентных пошлинах [2]. Казалось бы, увеличение пошлин должно затормаживать патентную деятельность. Но для обучающихся по «Приложению №2...» предусмотрена льгота 10% от установленной общей пошлины. Например, по п.1.8. (принятие решение по результатам экспертизы заявки на изобретение по существу) патентная пошлина возросла с 1250 до 1400 рублей, что не особо существенно для обучающегося. Увы, затормозить получение красочных бумажных документов может новая редакция п.1.18.1 о выдаче патента на бумажном носителе, пошлина по которому увеличилась в 1,5 раза, то есть с 2000 до 3000 рублей. Для обучающихся это существенно, но не критично, потому что электронный патент, правда, не с такой красивой распечаткой, имеет такую же правовую силу, как и бумажный документ. Значит, обучающийся вполне может без дополнительных затрат, не испрашивая бумажный патент, показать на конференциях и конкурсах свои достижения, в том числе в виде «Линейки изобретений».

Информационные ресурсы школьно-студенческого научно-технического кружка

2022–2023 и 2023–2024 учебные годы были посвящены развёртыванию в школьном кружке патентной деятельности. Об этой работе есть цикл авторских статей [3–6]. Результаты выполненной двухлетней, даже трёхлетней, работы были представлены на конкурс «Интеллект 2023» в прошлом году, работа заняла второе место, но оставалось внутреннее ощущение чего-то незавершённого. Вроде бы, учебная программа создана, школьники начали работать, кое-как наладилось патентное руководство учениками, поверхностно были изучены основы патентного законодательства и патентного делопроизводства, все ученики побывали в экспедиции ФИПС, сдали заявки на патенты – всё это содержится в уже работающей программе обучения патентной деятельности. Однако, погоня за стимулами, то есть позитивное направление, согласно философскому закону единства и борьбы противоположностей, привела к непредвиденному негативному следствию: «Давай изобретём хоть что-нибудь!» Личность школьника ещё не устоялась в социуме, не имеет более-менее чёткого целеполагания, ориентируется на живое созерцание красочного бумажного патента, но не на суть охранного государственного документа. Пришлось оперативно исправлять ситуацию, корректировать деятельность, постоянно говорить о качестве патентования [7]. Но решать новую задачу нужно было обязательно с учётом психологических особенностей школьников и студентов начальных курсов вузов. Опыт работы автора в этом направлении есть, преподавательская деятельность в школьном кружке была обобщена, затем эта область работы была отложена, но настало время вернуться к особенностям восприятия школьниками новых понятий.

Источники информации по психологическому направлению патентной деятельности обучающихся

Психологические основы обучения, то есть психология педагогики, были изучены и предложены к практическому применению классиком этого направления Львом Семёновичем Выготским [8–11]. Из классической теории психологии педагогики в качестве руководства к действию было взято учение о зонах развития ребёнка и личности, на основе которых была построена новая модель «Лестница познания» [12–17]. Суть основных приложений этой теории к патентной деятельности сводится к чёткому разграничению трёх позиций:

- 1) что может ребёнок сделать полностью самостоятельно (зона актуального развития), например, выпилить деталь из тонкой фанеры ручным лобзиком;
- 2) что может ребёнок сделать с помощью учителя (зона ближайшего развития), например, выпилить деталь из толстой фанеры электрическим лобзиком;
- 3) что в принципе ребёнок не может сделать даже с помощью учителя (зона перспективного развития), например, выпилить деталь из титана – нужны специальные титановые технологии, которые есть только на специальном заводе.

При анализе психологического направления патентной деятельности учитывается мотивация обучающегося с учётом его возраста. Процесс осмысления государственного уровня патентной работы происходит постепенно, от живого созерцания красивых документов до абстрактного понимания сути законодательства и делопроизводства.

Содержательная формулировка задачи и план решения

Цель работы имеет двойственное назначение. Во-первых, требуется выполнить анализ достижений школьного научно-технического кружка в части резкого увеличения интереса к патентной деятельности. Во-вторых, нужно закрепить достигнутый успех и масштабировать положительный эффект в этом направлении.

Исходными данными для решения поставленных задач стала разработанная ранее программа обучения патентной деятельности. Программа разрабатывалась и внедрялась как частное, дополнительное направление технического творчества школьников. Структура учебной программы традиционная, содержит пункты исторического характера и разделы для практической подготовки заявок на патенты с последующей перепиской с ФИПС. Успешное освоение учебной программы школьниками и студентами выразилось не столько в количественных показателях и резком росте числа полученных охранных документов, сколько в интересе учеников к новой для них области работы. С психологической точки зрения интерес привёл к мотивации обучающихся, моральной и уже материальной, продолжать такое направление деятельности. Значит, надо провести анализ причин такой мотивации, усилить их, найти новые стимулы для расширения деятельности.

Статическое состояние любой работы практически не реализуется, потому что всегда наблюдается либо расширение производства, либо его спад. Это правило обусловило вторую задачу исследования. Нужно создать условия, при которых возможно масштабирование положительного опыта. Прежде всего, задача заключалась в переносе опыта школьников на деятельность студентов. Оказалось, что это не так просто, потому что в студенческом обществе совершенно другие правила и мотивы жизнедеятельности, по сравнению с общеобразовательной школой. Но студентов тоже удалось вовлечь в патентную деятельность.

Анализ достижений школьного кружка в области патентной деятельности

Нет смысла применять общие бюрократические показатели качества патентной деятельности, например, в виде количества поданных заявок, числа полученных положительных решений и патентов. Применение таких показателей, как показывает практика, сразу приводит к административным указаниям сверху: «Изобретать!» В результате на свет появляется множество «бумажных» патентов, которыми организация отчитывается перед руководителями, но о которых исполнители очень скоро забывают: «Выполнил – забыл!» Вместо этого был апробирован другой показатель качества состояния патентной деятельности – вовлечённость обучающихся в этот вид работы. Но опять-таки, нельзя судить о вовлечении ученика в изобретательскую деятельность только по одной поданной заявке. Совершенно другая ситуация наблюдается, если обучающийся подал две и более заявок, пусть даже две. Вторая поданная заявка свидетельствует о появившемся интересе к патентованию. Анкетированием и опросами такой интерес выявить практически невозможно, потому что на вопрос: «Интересна ли патентная деятельность?» - всегда последует положительный ответ, оценка ситуации не будет объективной. Напротив, вторая поданная заявка очень убедительно свидетельствует о проявленном интересе по следующим причинам:

- 1) подать заявку на патент достаточно трудоёмко;
- 2) оформление заявки на патент требует много времени;

- 3) общение с ФИПС предполагает изучение патентных законов;
- 4) переписка с ФИПС требует знания основ делопроизводства;
- 5) патентный стиль технической литературы своеобразен и труден;
- 6) подача заявки сопровождается уплатой патентных пошлин;
- 7) публикация материалов выставляет заявителя перед публикой;
- 8) второй патент в принципе изменяет отношение к автору.

В связи с этим в школьном кружке была составлена таблица (таблица) о количестве поданных заявок, пусть даже с отрицательным решением Государственной экспертизы о выдаче патента. Фамилии учеников реальные, нарушений нет, приведены из заявочной документации в открытом доступе, в которой обязательными документами являются согласия на обработку персональных данных школьника и законного представителя в случае несовершеннолетия заявителя, номера заявок и патентов приведены реальные, по ним любой желающий может установить автора, заявителя и патентообладателя, а также проверить действие патента.

Таблица. **Вовлечённость обучающихся в патентование**

Обучающийся (автор, из заявки)	Заявка на патент (Из или ПМ)	Патент, полож. решение, экспертиза, отказ	Количество заявок (вовлечённость)
Кирнева К.Д.	ПМ 2023126391	Отказ	2
	Из 2024112945	Полож. решение	Да
Глушкова В.С.	ПМ 2023121854	Отказ	2
	ПМ 2023122261	Отказ	Да
Цуркан А.Б.	ПМ 2023126392	Патент 223012	2
	ПМ 2024129701	Полож. решение	Да
Екимовская А.А.	Из 2021126157	Отказ	5 Да
	Из 2022124898	Патент 2800901	
	ПМ 2023124105	Патент 223867	
	ПМ 2024106143	Патент 226295	
	ПМ 2024106140	Патент 226143	
Конорева М.М.	Из 2024128552	Экспертиза	1 Нет
Драцкая А.И.	Из 2021129147	Патент 2801819	1 Нет
Жукова В.С.	Из 2018136909	Патент 2734175	1 Нет
Скворцова А.А.	Из 2017138076	Патент 2712370	1 Нет

В таблице приведены данные только тех учеников, кто общался с ФИПС. Для справки, в ноябре 2024 года в кружке работали 12 школьников, три студента, два выпускника кружка. Если применить предлагаемый показатель вовлечённости обучающихся в патентную деятельность, то можно утверждать, что первые четверо активно общаются с ФИПС, хотя неудачи есть, но они постепенно преодолеваются. Нижняя четвёрка учеников подали по одной заявке. Однако к любому показателю качества надо подходить диалектически, вникать в суть реальной работы. Конорева М.М. подала заявку, но сейчас уже готова вторая заявка на патент. К сожалению, три нижние ученицы прекратили общение с ФИПС, то есть в настоящее время не занимаются изобретательской деятельностью.

Анализ таблицы показывает, что половина учеников, начавших работать в патентной области, активно вовлекаются в эту деятельность, поэтому нельзя говорить, что призывы патентовать технические решения пропадают впустую. Каждый второй школьник, пусть даже пока по небольшой статистической выборке, подавший хотя бы одну заявку на патент, вовлекается в общение с Государственными экспертами по интеллектуальной собственности. Но это только статистика, поэтому теперь надо определить причины заинтересованности

учеников патентованием. Так как в этом направлении согласия субъектов на обработку персональных данных не собирались, то фамилии упоминаться не будут, четверо вовлечённых в патентование обучающихся упоминаются в случайном порядке.

Одна ученица увлеклась патентованием учебных установок, и при этом получила несколько наград на множестве конкурсов. Одна из наград была материальной, приз 20000 рублей. Материальный стимул всегда был и остаётся мощным мотивом любой деятельности, особенно для школьников. Естественно, после такой рефлексии со стороны научного сообщества даже не могло быть речи об отказе от продолжения патентной деятельности.

Другая ученица представила результаты школьных исследований, дополненные заявкой на патент, причём этого оказалось достаточно для победы в престижном школьном конкурсе. Помимо диплома победителя, ученице был вручён денежный сертификат на 4000 рублей по договору с определённой организацией. Получилось, что материальный стимул в очередной раз убедил обучающегося продолжать патентовать даже незначительные достижения, потому что из значимости с позиции новизны, промышленной применимости и изобретательского уровня (для изобретения) может оценивать только Государственный эксперт по интеллектуальной собственности.

Третья ученица продолжает заниматься изобретательством, готовит третью заявку на патент, хотя пока никаких материальных призов не получила. Значит, моральные стимулы играют ничуть не меньшую роль в поддержании интереса обучающихся к патентной деятельности. К слову сказать, резкой и точной грани между материальными и моральными стимулами не существует. Например, эта же ученица участвовала в конкурсе «Большие вызовы» для поездки на образовательную смену в Сочи-Сириус. В прошлом учебном году победить не удалось, но члены жюри отметили редкий случай активной патентной деятельности. В этом году есть намерение вновь подать заявку на этот конкурс, победа в котором влечёт не только моральное удовлетворение, но и дорогостоящую путёвку (примерно 120000 рублей) для поездки в Сириус на три недели с оплатой проезда от места жительства и обратно.

Собственную фамилию можно упоминать в этом отчёте. Моральные стимулы связаны с материальными поощрениями так сильно, что студентам трудно определить переходы одних в другие. Например, при подаче заявки на Стипендию им. Ю.А. Гагарина (15000 рублей в месяц в течение девяти месяцев) надо привести перечень полученных патентов и поданных заявок. То же самое справедливо для Стипендии Президента РФ и Стипендии Правительства РФ, обычной и по приоритетным направлениям, Стипендии им. Ю.Д. Маслюкова, Стипендии им. С.П. Королёва, Стипендии за НИРС, Стипендии за отличную успеваемость и т.д. Получается, что моральное поощрение имеет отложенный материальный стимул для дальнейшей работы в области патентования. Более того, моральные поощрения в виде патентов влекут неявный материальный стимул, например, с учётом их (четырёх патентов), была выиграна дорогостоящая путёвка на Школу-конференцию в Южно-Сахалинском государственном университете, а потом на Конгресс молодых учёных в Сочи-Сириусе.

Для школьников очень большое значение имеют не только денежные поощрения за победы в конкурсах, довольно редкие, но и различные призы. Например, учеников с патентами на региональном конкурсе наградили специальными призами, которые потом долго обсуждались, понравились обучающимся, вызвали желание в следующий раз показать членам жюри ещё больше патентов. При таком подходе не может быть речи о свёртывании патентной деятельности.

Поводя итоги анализу достижений обучающихся в школьном научно-техническом кружке, убедительно можно сделать следующие выводы, обеспечившие вовлечение обучающихся в патентную работу:

1. Патент или даже заявка на патент часто становится материальным стимулом для продолжения патентной деятельности обучающегося. Даже без осознания особенностей

интеллектуальной собственности, патент приносит опосредствованные материальные стимулы и отложенную заинтересованность в продолжении работы.

2. Патент или даже заявка на патент всегда становятся моральным стимулом для продолжения патентования.
3. Патент или даже заявка на патент имеют педагогическую направленность, потому что расширяют своё влияние на окружающих.
4. Патентная документация способствует реальной профориентации школьников, например, открывая для них новый вуз – Российскую академию интеллектуальной собственности, о которой многие ученики вообще не имели ни малейшего понятия.

«Линейка изобретений» - новое понятие и новый метод вовлечения обучающихся в патентную деятельность

Для дальнейшего терминологического единства надо применить известное понятие русского языка – омонимы. Это слова, одинаковые по написанию или произношению, но различные по значению. Слово «линейка» имеет несколько значений. Первое значение – это измерительный инструмент для определения размера или расстояния между точками. Второе значение связано с произвольной шкалой, синонимично делениям, как, например, в оптической системе бинокля для определения расстояний. Третье значение всем хорошо известно в школе, когда проводится линейка учеников, например 1 Сентября. Наверное, есть ещё и другие омонимы этого слова, но далеко не все эти термины содержатся в Государственных стандартах. Напротив, в Государственном стандарте по безопасности атомных электростанций, причём в общих требованиях, зафиксирован термин «линейка оборудования» [18]. Линейка оборудования может быть как продуктом от определенного поставщика, так и набором изделий, соединение и адаптация которых выполнены поставщиком. Иногда в качестве синонима термину «линейка оборудования» используют термин «приборная (аппаратная) платформа».

Омоним «линейка» получил такое широкое распространение, что с перечня оборудования был перенесён на перечень услуг [19]. Линейка услуг – это базовая или вспомогательная услуга, которая включает несколько пакетов уровней услуг. Линейка услуг управляется менеджером продукта и каждый пакет уровня услуги спроектирован для поддержки определенного сегмента рынка. То есть, линейка услуг – это основная услуга или пакет услуг с набором опций. Линейка услуг управляется владельцем услуги. Каждая опция услуги проектируется для поддержки определённого сегмента рынка.

В отличие от термина «платформа оборудования», предполагающей аппаратное, приборное, производственное обеспечение, авторский термин «линейка изобретений» относится к нематериальным активам, к интеллектуальной собственности [1]. Предлагается следующее авторское определение понятия «линейка изобретений» выраженного таким же термином.

Определение

Линейка изобретений – это несколько технических решений по единой тематике с исключительно педагогической направленностью для вовлечения обучающегося в патентную деятельность.

Личный опыт и пример доказывает правильность введения выбранного показателя качества и критерия [20]. Более того, такая база критериев соответствует постепенному, но достаточно длительному, процессу вовлечения обучающегося в патентование. Личный авторский опыт показал, что за один-два месяца не получится осознать важность патентования, нужно, как минимум один-два года. Первый патент был получен в 2022 году [21], а следующие три патента – в 2024 году [2–24]. Четыре охранных документа убедительно и объективно доказывают, что произошло полное вовлечение обучающегося, то есть автора, в патентную деятельность. Такая объективная оценка с помощью предложенного критерия подтверждается субъективным, авторским отношением. На самом деле вовлечение в патентование произошло раньше, в 2021 году, потому что перед получением первого патента [21] было получено одно отрицательное решение ФИПС о выдаче охранного документа [25]. Продолжая субъективную оценку предложенного показателя и личного опыта, можно предположить, что первое отрицательное

решение с последующим положительным результатом является намного важнее двух охранных документов. Даже при отказе в выдаче патента интерес к такой работе не пропал, наоборот, значительно возрос и продолжает увеличиваться.

После выстраивания в один ряд всех заявок и патентов начинает обрисовываться предлагаемое автором понятие «линейка изобретений».

Педагогическое обоснование понятия «линейка изобретений»

С позиции педагогики требуется обосновать, что предлагаемое новое понятие «линейка изобретений» соответствует принципам психологии обучающихся [8]. Такое обоснование выполнено на основе понятий трёх психологических зон развития личности ребёнка, потому что объектом изучения являются обучающиеся, школьники и студенты, хотя ничто не мешает расширить исследование, например, на молодых специалистов. Следующие примеры приведены для дальнейшего обоснования предлагаемого нового понятия и определения.

Пример 1 (авторские работы)

Первый патент был получен в 2022 году [21] на учебную установку для иллюстрации силы натяжения вращающейся цепочки. Но за год до этого был получен отказ о выдаче патента на способ орбитального маневрирования вращающейся космической системы [25]. Родовое понятие «вращающаяся космическая система» общее для обеих заявок, поэтому вполне можно считать вовлечение автора в изобретательство состоявшимся фактом. Субъективное, личное мнение совпало с объективным, подтвердилось следующими тремя патентами. Если космический аппарат вращается, то какую форму он должен иметь? Сначала пришлось исследовать единичный отсек – это второй патент [22]. Потом потребовалось изучить состыковку двух отсеков – это третий патент [23]. Наконец, очередь дошла до конечного эскиза – кольцевой вращающейся системы из сферических сегментов [24], которая позднее получила более точное название – лепестковый тор. Получилось, что все четыре патента, да и две отказные заявки, выполнены по одной тематике, имеют одно общее или схожее родовое понятие, направлены на достижение единого положительного эффекта и преследуют одну цель (использование энергии вращения в космосе). Всё сказанное верно с технической точки зрения, справедливо с точки зрения патентоведов, но главное – полностью соответствует психологии обучающегося по Л.С. Выготскому [8]. При подаче первой заявки не было трудности выполнить расчёт (зона актуального развития – это самостоятельная работа обучающегося), но была неопределённость в виде зоны ближайшего развития обучающегося, но её можно преодолеть, если рядом есть научный руководитель, тем более, патентовед. При подаче второй заявки зона актуального развития расширилась, частично перешла в зону ближайшего развития, которая, в свою очередь, захватила часть зоны перспективного развития – что ученик в принципе не может выполнить даже с учителем. Расширение трёх психологических зон – это главная суть учения Л.С. Выготского. Авторское применение этого учения выражено в деформации зон как определения увлечённости [1–16]. Если деформация зон пошла в сторону патентной деятельности, то вовлечение, увлечение обучающегося состоялось. В авторской модели зона актуального развития моделируется надутый перчаткой. В этом исследовании целью работы является образование и раздувание одного пальчика перчатки, указывающего в сторону Роспатента, которые отразили объективную реальность – вовлечение в патентную деятельность, начиная с первой и второй заявок.

Пример 2

Ученица школьного кружка подала две заявки на патенты на полезные модели [26, 27]. К сожалению, ответ Государственной экспертизы по обеим заявкам был отрицательным, потому что не выполнен критерий новизны технического решения. Но даже при отрицательном результате можно утверждать, что школьница вовлечена в патентную деятельность, потому что работа продолжается в том же самом направлении, связанном с высокочастотной электротехникой.

Пример 3

Школьница заинтересовалась орбитами космических аппаратов. Получила патент на учебную установку [28], а потом положительное решение на вторую установку [29].

Направление технического творчества единое, требования критериев перевыполнены. Значит, ученица вовлечена в патентование.

Пример 4

Школьница три года изучает свойства треугольника Рёло, предложила несколько интересных механизмов. К сожалению, первая заявка на патент оказалась отказной [30]. На вторую машину не успела подать заявку, пропустила 6-месячный срок патентования после опубликования видеоролика в открытом доступе. Но на третий механизм получила положительное решение о выдаче патента на изобретение [31]. Обе заявки поданы по единому техническому направлению, требование критерия выполнено, ученица вовлечена в патентование.

Приводить примеры можно продолжать дальше. Ещё одна ученица подала заявку на патент на изобретение, но пока только одну [32]. Ещё одна ученица практически подготовила заявку на патент на полезную модель, через месяц получает паспорт – с ним проще оформлять документы. Но в этих двух случаях требования критерия пока не выполнены, хотя субъективно можно утверждать о вовлечённости обучающихся в патентование.

Масштабирование положительного эффекта расширения патентной деятельности

После выяснения причин резкого увеличения интереса к патентной работе со стороны школьников и студентов появилась задача практического применения этого положительного эффекта. О масштабировании такого достижения никто не думал, как не думал даже о самом положительном эффекте. Все ученики просто продолжали работать. Весной школьным кружком заинтересовалась редакция журнала «Изобретатель и рационализатор», приезжал корреспондент. Летом пришли письма с красочными патентами. Состоялось подведение итогов. Руководитель кружка, профессиональный патентовед, предложил обобщить опыт достижений в патентной деятельности в результате было выработано общее мнение о показателе качества и критерии вовлечённости обучающегося в патентование. Однако, какие бы ни были разработаны критерии вовлечённости обучающихся в патентную деятельность, какие бы ни были показатели качества работы в этом направлении, главным фактором интереса к интеллектуальной собственности является личная заинтересованность. Интерес к патентованию является психолого-педагогической категорией, поэтому его можно оценить только педагогическими достижениями, в том числе множеством частных примеров, которые требуют обобщения. Впервые в школьном кружке начата патентная работа с учениками начальной школы, что доказывает мотивацию школьников к этому направлению работы [34].

Выводы

1. Разработано и обосновано новое понятие «линейка изобретений».
2. Выполнен психолого-педагогический анализ нового понятия.
3. Разработан показатель качества и критерий вовлечённости обучающихся в патентную деятельность (две заявки на патенты).
4. Выполнен системный анализ предложенного критерия.
5. Индуктивным методом, на примерах подтверждено действие предложенного критерия на учениках школьного кружка.
6. Выявлен положительный эффект от работы по модели «линейка изобретений» для вовлечения обучающихся в патентование.
7. Опыт масштабирован от школьного кружка до СНО вуза.

Список использованных источников

1. Всероссийский практикум «Твоя интеллектуальная собственность», НОЦ, Роспатент-ФИПС, 11-22 ноября 2024 г., список вебинаров, дистанционное обучение, 24 акад. ч. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vk.com/video457927039_456239510 (дата обращения: 31.08.2025).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2024 г. №1278 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 10 декабря 2008 г. № 941», «Положение о патентных и иных пошлинах за совершение юридически значимых действий...».
3. Екимовская А.А. Опыт практического внедрения учебной программы «Основы патентной деятельности» в школьном кружке / Сборник тезисов работ международной молодежной научной конференции L Гагаринские чтения 2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://gagarin.mai.ru/files/2024/2024_sbormik_tezisov.pdf

(дата обращения: 31.08.2025).

4. Екимовская А.А., Лебедев В.В. Основы патентной работы школьников и студентов в научно-техническом кружке / Научный журнал ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина» «Пилотируемые полёты в космос». – ИНДЕКС 78820 (Объединённый каталог «Пресса России»). Перечень ВАК. – Пилотируемые полёты в космос. Материалы XV Международной научно-практической конференции 15-17 ноября 2023 г. С. 369–370.
5. Екимовская А.А., Лебедев В.В. Патентная работа в школьном техническом кружке. / Сборник тезисов Всероссийской с международным участием школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века», Казань, КФУ, 29 ноября-1 декабря 2023 г. С. 171.
6. Екимовская А.А. Опыт внедрения учебной программы «Основы патентной деятельности» в школьном кружке // Девятые Колачёвские чтения: материалы IX Всероссийской молодёжной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А. Гагарина, 4 апреля 2024 г. - Москва: ИНФРА-М. 2024. С. 134–134.
7. Екимовская А.А. Качество патентования результатов интеллектуальной деятельности в программе работы школьного кружка / НАУКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ОБОРОНА: Труды XXV Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. – Новосибирск. 2024. С.261–265.
8. Выготский Л.С. Психология развития ребёнка. - М.: Изд-во Смысл, Изд-во Эксмо. 2005. 512 с.
9. Выготский Л.С. Воображение и творчество в детском возрасте / Л.С. Выготский // СПб.: СОЮЗ. 1997. 96 с.
10. Одарённые дети: Пер. с англ., Общ. ред. Г. В. Бурменской и В. М. Слущкого. – М.: Прогресс. 1991. 223 с.
11. Выготский Л.С. Проблема обучения и умственного развития в школьном возрасте // Избр. психол. иссл. – М, 1956. 452 с.
12. Екимовская А.А. Учебная программа «Основы патентной деятельности» для мотивации школьников при изучении космической тематики / XXI Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 10-12 апреля 2024 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://kmu.cosmos.ru/docs/2024/thesis_kmu_2024_3.pdf (дата обращения: 31.08.2025).
13. Екимовская А.А. Развитие идей Л.С. Выготского при создании психолого-педагогической модели «Лестница познания» / XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагеев А.Р. 2023. С. 4057–4064.
14. Екимовская А.А. Психолого-педагогическая модель «Лестница познания» как развитие идей Л.С.Выготского / Материалы VIII Всероссийской молодёжной научно-практической, конференции «Колачёвские чтения 2023», 7 апреля 2023 г. - Москва: ИНФРА-М. 2023. С. 130–131.
15. Екимовская А.А. Анализ понятий увлечённости и одарённости в психолого-педагогической модели «Лестница познания». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lomonosov-tsu.ru/archive/Lomonosov_2023/data/28768/153333_uid450108_report.pdf (дата обращения: 31.08.2025).
16. Екимовская А.А. 1-й курс. Московский авиационный институт (НИУ МАИ). Понятие увлечённости и одарённости в психологической модели "Лестница познания" / Одарённые школьники: выявление, поддержка и развитие. Современные инновационные практики и технологии: тезисы докладов круглого стола педагогов. Под ред. Д.Р.Муравьевой. VIII Всероссийская (с международным участием) конференция учащихся им. Н.И.Лобачевского. 2023. С. 84–87.
17. Екимовская А.А. Практическое внедрение учебной программы «Основы патентной деятельности» в школьном кружке / Одарённые школьники: выявление, поддержка и развитие. Современные инновационные практики и технологии: тезисы докладов круглого стола педагогов (Казань, 30 марта 2024 г.): под ред. Д.Р. Муравьевой. – Казанский (Приволжский) федеральный университет. – К(П)ФУ, 2024. С. 59–61.
18. ГОСТ Р МЭК 61513-2011: Атомные станции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Общие требования. П.3.18. Примечание 2, Примечание 3.
19. Справочник технического переводчика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://technical_dictionary.academic.ru/107294/%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BA%D0%B0_%D1%83%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B3 (дата обращения: 31.08.2025).
20. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем. – М.: Советское радио, 1973. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/13940> (дата обращения: 31.08.2025).
21. Патент на изобретение RU 2800901. Екимовская А.А. Учебная установка для демонстрации силы натяжения вращающейся цепочки. Рег. 31.07.2023. Заявка № 2022124898/28(054104).
22. Патент на полезную модель RU 223867 U1. Российская Федерация, МПК A47G 19/00 (2006/01). Открытая ёмкость максимального объёма с плоским дном и сферической стенкой / Екимовская А.А.; заявитель и патентообладатель - № RU 2023124105; заявл. 19.09.2023; опубл. 05.03.2024, Бюлл. №7. – 22 с.: ил.
23. Патент на полезную модель RU 226143, Российская Федерация, МПК B65D 88/04 (2006.01); B60K 15/03 (2006.01); F17C 1/00 (2006.01). Герметичная ёмкость из сферических слоёв с перегородками / Екимовская А.А.; заявитель и патентообладатель - № RU 2024106140, заявл. 11.03.2024; опубл. 22.05.2024, Бюлл. №15. – 11 с.: ил.
24. Патент на полезную модель RU 226295, Российская Федерация, МПК B65D 88/04 (2006.01); B60K 15/03 (2006.01); F17C 1/00 (2006.01). Герметичная ёмкость из сферических слоёв / Екимовская А.А.; заявитель и патентообладатель - № RU 2024106143; заявл. 11.03.2024; опубл. 30.05.2024, Бюлл. №16. – 13 с.: ил.
25. Екимовская А.А. Способ межорбитального маневрирования космического аппарата. Заявка на патент на изобретение № 2021126157. Дата публикации заявки: 06.03.2023, Бюллетень №7. - Официальный бюллетень

- «Изобретения. Полезные модели». – ISSN 2313-7436. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ), Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС).
26. Глушкова В.С. Учебный бифиляр. Заявка на полезную модель RU 2023121854 от 22.08.2023.
 27. Глушкова В.С. Универсальный переключаемый полифиляр. Заявка на полезную модель RU 2023122261 от 28.08.2023.
 28. Патент на полезную модель RU 223012. Цуркан А.Б. Демонстрационный макет для изучения орбит космических аппаратов. –, приоритет 16.10.2023, заявка 2023126392, публ. 26.01.2024, Бюлл. №3.
 29. Цуркан А.Б. Учебная модель для зрительного восприятия расположения в пространстве нескольких орбит космических аппаратов. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель. – Заявка на патент на полезную модель RU 2024129701 U, приоритет 03.10.2024.
 30. Кирнева К.Д. Удлиненный опорный каток Рёло из сборных элементов. – Заявка на патент на полезную модель RU 2023126391, приоритет 16.10.2023.
 31. Кирнева К.Д. Многоосное шасси транспортного средства с колёсами в форме треугольников Рёло / Заявка на патент а изобретение RU 2024112945 от 14.05.2024. Положительное решение о выдаче патента.
 32. Конорева М.М. Направляющий рычажно-шарнирный механизм для одновременного прямолинейного движения двух точек в противоположных направлениях. – Заявка на патент на изобретение RU 2024128552, приоритет от 26.09.2024.
 33. Конференция "Молодые профессионалы", Санкт-Петербург, ИТМО, 8-10 октября 2024 г. Впервые заранее выполнена полная патентная защита! [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cfmo.ucoz.ru/load/konferencija_molodye_professional_y_sankt_peterburg_itmo_8_10_oktjabrja_2024_g_vperv_ye_zaranee_vypolnena_polnaja_patentnaja_zashhita/1-1-0-1017 (дата обращения: 31.08.2025).
 34. Екимовская О.В., Екимовская А.А. Ознакомление учеников начальной школы с понятием интеллектуальной собственности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kpfu.ru/science/nauchno-issledovatel'skaya-rabota-studentov-nirs/materialy-i-tehnologii-xxi-veka-xxi-veka/glavnaya> (дата обращения: 31.08.2025).

УДК 33.011

РАЗРАБОТКА ПОНЯТИЯ «НЕСЫРЬЕВОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА»

Кудрявцев А.С. (аспирант, ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н, доцент Николаев А.С. (ИТМО)

e-mail: ya1kudr@yandex.ru

В работе проведен анализ существующих понятий «инновационного проекта», выявлены недостатки существующих понятий и учтена направленность на сырьевой сектор с целью формирования понятия «несырьевого инновационного проекта». Данное понятие позволило провести работу по выявлению критериев отнесения проектов к категории «несырьевых инновационных».

Ключевые слова: *инновации, сырьевой проект, инновационный проект, понятие, сырьевой инновационный проект.*

Сложно переоценить роль инноваций в современном мире. Проекты, связанные с инновационным развитием, позволяют компаниям создавать более сложные, наукоемкие производства и продукты, что обеспечивает их устойчивое и долгосрочное развитие. Среди лидеров компаний с точки зрения инновационного развития в Российской Федерации стоит отметить нефтегазовые компании, такие как «Роснефть», «Татнефть», «Газпром» и другие. Большие инвестиции в инновационную деятельность, в том числе в инновационные проекты, позволяют таким компаниям приобретать конкурентные преимущества и увеличивать свою прибыль [1–4].

Однако, направление большей части инвестиций на сырьевые проекты не позволяет компаниям грамотно диверсифицировать свою деятельность, поскольку сырьевые проекты не получают достаточного количества финансирования. Концентрация на добыче сырьевых ресурсов, пусть и более инновационными методами, не позволит компаниям в условиях ухода от сырьевой экономики обеспечить свое устойчивое развитие за счет диверсификации своей деятельности [5].

Задача стимулирования сырьевого сектора является актуальной не только для нефтегазовых компаний, но и для российской экономики в целом, поскольку существует значительная степень ее зависимости от добычи полезных ископаемых, что, в условиях мировой тенденции ухода от использования минерального сырья и санкционного давления на Россию, подтверждает актуальность работы [6].

Хорошо проработанная теоретическая основа позволит построить прочную и эффективную практическую работу для перехода к инновационной экономике и диверсификации деятельности нефтеориентированных предприятий и регионов.

Существуют известные определения инновационного проекта, представленные в таблице, которые требуют консолидации и устранения недостатков и противоречий [7–9].

Исходя из существующих недостатков известных определений, а также необходимости отражения сырьевого характера инновационных проектов и указание на их реализацию нефтегазовыми компаниями – было разработано следующее определение:

Сырьевой инновационный проект – комплекс мероприятий, реализуемых нефтеориентированной компанией, связанных общей целью, проектной документацией, ограниченных во времени, направленных на достижение инновационного результата без использования сырьевых ресурсов.

Для выявления сырьевых инновационных проектов следует выявить критерии таких проектов с учетом разработанного определения. В первую очередь, такие проекты должны соответствовать критериям обыкновенного проекта, данные критерии общеизвестны и общеприняты. К ним относятся:

- ограниченность во времени;
- ограниченность в ресурсах;
- наличие цели;
- направленность на решение актуальной проблемы.

Во-вторых, помимо данных признаков, проект должен соответствовать критериям инновационного, что, помимо указанных критериев, подразумевает его соответствие следующим критериям:

- новизна получаемого результата;
- значительная составляющая затрат на исследования и разработки.

В-третьих, учитывая все вышеприведенные ранее критерии, такие проекты должны также иметь несырьевую направленность, что включает в себя их соответствие следующему критерию отсутствия направленности на добычу полезных ископаемых.

Таблица. Недостатки существующих определений

Авторство	Определение	Недостатки
В.Я. Горфинкель, В.А. Швандар	Комплект проектной документации по реализации взаимоувязанных по целям, ресурсам, срокам и исполнителям научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационных, финансовых, коммерческих и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение конкретной научно-технической задачи, приводящей к инновации	Подразумевает проект только как комплект документации
Федеральный закон от 23.08.1996 г. № 127-ФЗ	Комплекс направленных на достижение экономического эффекта мероприятий по осуществлению инноваций, в том числе по коммерциализации научных и (или) научно-технических результатов	Не отражает признаки деятельности как проекта
В.А. Первушин	Система взаимоувязанных целей и программ их достижения, представляющая собой комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, организационных, финансовых, производственных, коммерческих и других мероприятий, соответствующим образом организованных (увязанных по ресурсам, срокам и исполнителям), оформленных комплектом проектной документации	Излишняя концентрация на классификации проводимых мероприятий

Соответствие всем вышеуказанным критериям позволит отнести проект к категории «несырьевых инновационных», что позволит выявить такие проекты. Выявленные проекты будут способствовать их систематизации, а также консолидации знаний о них. Все это позволит структурировать информацию о таких проектах, определить их более глубокие особенности для последующей классификации, провести учет таких проектов и разработать стратегии работы с ними.

Проведенное исследование позволит обеспечить надежный теоретический фундамент для становления несырьевых инновационных проектов, которые позволят диверсифицировать деятельность не только нефтегазовых компаний, которые за счет их использования смогут получать конкурентные преимущества и дополнительную прибыль, но и нефтеориентированных регионов, в первую очередь российских. Диверсификация деятельности таких регионов будет способствовать не только их самостоятельному устойчивому развитию, но и устойчивому экономическому развитию Российской Федерации за счет переориентирования деятельности с сырьевого сектора на инновационный.

Список использованных источников

1. Официальный сайт «Роспатент». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rospatent.gov.ru/ru> (дата обращения: 15.08.2025).

2. Официальный сайт ПАО «Газпром». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/> (дата обращения: 15.08.2025).
3. Официальный сайт ПАО «Роснефть». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosneft.ru/> (дата обращения: 15.08.2025).
4. Официальный сайт ПАО «Татнефть». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tatneft.ru/> (дата обращения: 15.08.2025).
5. Наумов Д.В. Исторический опыт зарубежных стран, подтверждающий необходимость развития обрабатывающей промышленности и ухода России от сырьевой зависимости // Теория и практика общественного развития. 2013. №. 1. С. 358–360.
6. Кутаренко П.К., Иванов Д.В. Путин: сырьевая составляющая не является определяющей в экономике России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tvzvezda.ru/news/20256201646-BBC45.html> (дата обращения: 18.08.2025).
7. Горфинкель В.Я., Швандар В.А. Инновационный менеджмент: учебник / под ред. В.Я. Горфинкеля, В.А. Швандара. – М.: Вузовский учебник. 2011. 500 с.
8. Официальный сайт Кремля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/9973> (дата обращения: 20.08.2025).
9. Первушин В.А. Практика управления инновационными проектами : учеб. пособие / В. А. Первушин. – М.: Дело, 2012. 205 с.

УДК 347.78.03

ПОДХОДЫ К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ ПРИ ЛИЦЕНЗИРОВАНИИ КАВЕР-ВЕРСИЙ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ

Мельников Ф.М. (ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н, доцент Николаев А.С. (ИТМО)

e-mail: actimelnikov@niuitmo.ru

В статье рассматривается проблема отсутствия прозрачного и экономически обоснованного механизма ценообразования при лицензировании кавер-версий музыкальных произведений в России. Анализируется правовая неопределенность в данной сфере и отсутствие общепринятой практики расчета лицензионных вознаграждений. На основе проведенного опроса исполнителей и анализа рыночных данных обосновывается необходимость создания единой цифровой платформы для лицензирования. В качестве решения предлагается модель расчета стоимости лицензии, сочетающая стандартизированную ставку за переработку, теоретический коэффициент популярности оригинального произведения и роялти, размер которого зависит от прибыли лицензиата. Модель демонстрируется на условном примере, и делается вывод о ее потенциальной эффективности для легитимизации рынка и защиты прав правообладателей.

Ключевые слова: Авторское право, лицензирование, ценообразование, музыкальные произведения, кавер-версии, переработка.

Кавер-версии музыкальных произведений, представляющие собой творческую переработку оригинальных произведений, являются неотъемлемой частью современной музыкальной культуры. Но в условиях цифровой трансформации музыкального рынка популярность этих объектов интеллектуальной деятельности сталкивается не только с привычными правовыми вызовами, связанными с охраной авторских и смежных прав, осуществляемой на законодательном и практическом правоприменительном уровне, но и социально-экономическими и инфраструктурными вызовами, характеризующимися, как многократным увеличением объема производимого человеком и потребляемого им же контента, так и недостаточной развитостью механизмов, прозрачно и открыто регулирующих деятельность, связанную с такими объектами. На фоне общемировой тенденции роста валовых доходов от сборов и сделок, связанных с лицензированием объектов авторских и смежных прав (за период с 2022 года по 2024 год в среднем на 7% в год), этот вопрос становится ещё более важным [1].

Возвращаясь к правовым вызовам, в первую очередь, наблюдается правовая неопределенность, начинающаяся уже с базовых определений. Ни отечественное законодательство, ни международные договоры, включая Бернскую конвенцию, не содержат ни определения «музыкальное произведение», ни тем более «кавер-версия», что справедливо создаёт определённые сложности в квалификации таких объектов, а также их правовой охране и защите [2]. Как отмечают отечественные исследователи, музыкальное произведение трактуется как «совокупность идей и образов, выраженных через организованные звуковые последовательности» [3, С. 44], а кавер-версия – как новая интерпретация, сохраняющая основные элементы оригинала (текст, гармоническую последовательность и мелодию) [4]. Однако, что подтверждается обзором судебной практики за 2024 год [5], недостаточная конкретика в законодательстве приводит к неясным путям законного практического использования музыкальных произведений и правоприменения, направленного на охрану и защиту прав авторов и правообладателей.

В соответствии с отечественным законодательством основанием осуществления законной деятельности, связанной с использованием кавер-версий музыкальных произведений, является распоряжение правообладателя исключительным правом – разрешение на использование произведения способами, необходимыми для создания кавер-версии. Согласно ч. 1 ст. 1233 Гражданского кодекса Российской Федерации такое разрешение возможно предоставить посредством заключения лицензионного договора о предоставлении другому лицу права использования соответствующего результата интеллектуальной деятельности в установленных договором пределах. Также необходимо отметить, что в

соответствии с ч. 2 ст. 1235 Гражданского кодекса Российской Федерации для такого договора обязательна письменная форма, несоблюдение которой влечет его недействительность [6]. В этой связи констатируется единственный способ правомерного создания кавер-версии музыкального произведения – прямой договор с правообладателем. Существующий подход, предполагающий прямые переговоры между ним и лицензиатом, очевидно, может быть обременительным для обеих сторон, в связи с чем законодателем допущено создание в случаях, когда осуществление прав правообладателей в индивидуальном порядке затруднено, организаций, осуществляющих коллективное управление авторскими и смежными правами. Справедливо отметить, что тенденции развития цифровых сервисов, таких как электронный документооборот и электронная цифровая подпись, позволяют предполагать снятие в обозримом будущем затруднений при появлении, например, специализированной единой платформы для лицензирования кавер-версий музыкальных произведений за счет взаимодействия авторов и правообладателей с минимальными бюрократическими и логистическими издержками.

В пользу этого утверждения говорят данные, полученные нами в ходе разведочного исследования, проведенного в начале 2025 года. Структура исследования состояла в изучении мнения 50 респондентов, занимающихся творческой деятельностью в рассматриваемом направлении, а также договорной документации Единой информационной системы в сфере закупок Федерального казначейства Российской Федерации. Объектом исследования стали субъекты творческой деятельности, связанные с созданием и использованием кавер-версий, и их правоотношения с правообладателями. Предметом исследования стали механизмы лицензирования кавер-версий на территории Российской Федерации.

По результатам исследования 39 человек из опрошенных артистов имеют опыт создания кавер-версий, что отражает спрос площадок и аудитории на узнаваемый репертуар, а также, возможно, указывает на относительно невысокий барьер входа для начинающих исполнителей через адаптацию уже популярных произведений. При этом лишь 4 из них оформляли лицензии, несмотря на высокий уровень осведомленности о юридической необходимости такого разрешения (46 респондентов). Примечательно, что ответы респондентов на вопрос «Какие меры, на ваш взгляд, могут упростить процесс лицензирования?» продемонстрировали потребность в повышении прозрачности процесса для всех участников и создании единой платформы для лицензирования кавер-версий музыкальных произведений (рисунок).

Учитывая тот факт, что размер рынка исполнителей кавер-версий по оценке, сделанной нами на основе данных с интернет-порталов агрегаторов объявлений об услугах в этой области, составляет более 4700 исполнителей (сольных исполнителей и кавер-групп), а минимальный гонорар такого исполнителя (на основе этих же данных) составляет от 25 тыс. до 1 млн. 750 тыс. рублей, меры, рассматриваемые участниками исследования, представляются актуальными. Но даже при появлении специализированной платформы остается неясным вопрос ценообразования при лицензировании кавер-версий музыкальных произведений. По сложившейся практике единственным способом образования цены является договоренность между лицензиаром и лицензиатом, а значит, цена зависит не только от объективных рыночных условий, а от желания и возможности сторон пойти навстречу друг другу в материальных и организационных вопросах. Это значительно снижает прозрачность процесса, а значит, создает предпосылки для возникновения нарушений прав правообладателя.

Несмотря на это, существуют те или иные подходы к ценообразованию (расчету размера вознаграждения правообладателя) в сфере интеллектуальной собственности, которые разнятся в зависимости от вида объектов, способов использования, юрисдикции и (или) соответствующих экономических условий. Например, в России ставка авторского вознаграждения за исполнение обнародованных музыкальных произведений устанавливается Российским авторским обществом и предполагает ценообразование в соответствии с нижеописанными факторами:

- тип использования произведений (публичное исполнение, фоновая музыка, показ аудиовизуальных произведений и т.д.);

- категория организации или мероприятия (ресторан, кинотеатр, концерт, торговый центр и др.);
- количество населения в административных границах муниципального образования в месте исполнения, площадь озвучивания, время озвучивания, количество мест;
- наличие платного или бесплатного входа;
- источник финансирования (бюджетное/внебюджетное);
- поправочные коэффициенты и др.

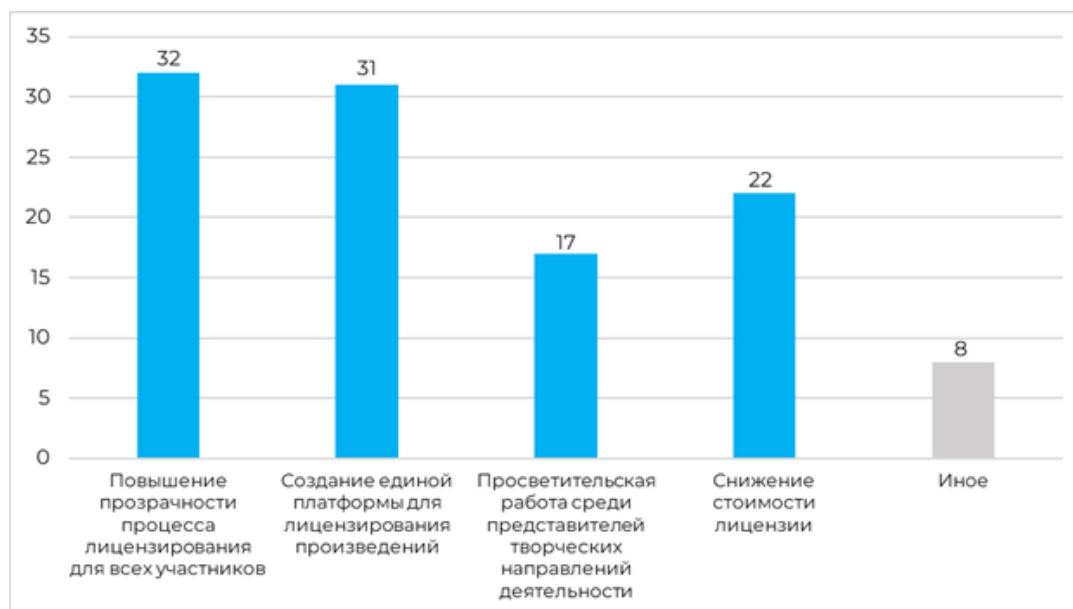


Рисунок. Возможные меры, упрощения процесса лицензирования
(Частота выбора / чел. из опрошенных)

Данный подход представляется структурированным, комплексным и, на первый взгляд, гибким, однако требует от руководителей организаций или организаторов тех или иных мероприятий заключения договора с авторским обществом, предоставления отчета об использовании произведений и не касается такого способа использования как переработка произведения. Кроме того, он не учитывает культурную ценность, эмоциональное воздействие на слушателя и популярность того или иного оригинального произведения, а именно они чаще всего определяют коммерческий интерес к кавер-версии. На первый взгляд, сложно представить объективные критерии, по которым возможно определить эмоциональное воздействие музыкального произведения на слушателя, но, используя, например, данные стриминговых сервисов, это представляется реальным. Согласно данным Национальной федерации музыкальной индустрии, в России среднемесячная аудитория стримингов в 2024 году составила 84,1 млн, из которых 32,2 млн – платные подписчики [7]. Очевидно, что, используя обезличенные данные этих пользователей для статистики, можно (и даже в режиме реального времени) получить представление о ценности в обществе того или иного музыкального произведения.

В связи с вышесказанным при решении вопросов ценообразования на кавер-версии музыкальных произведений, на наш взгляд, могла бы быть использована модель, комбинирующая в себе подход, принятый при расчете цены лицензии на охраняемые объекты патентного права, близкородственные по своей природе объектам права авторского [8, С. 40–49].

Кратко рассмотрим три основных вида лицензионных платежей:

Паушальный платеж – единовременная или поэтапная фиксированная сумма, выплачиваемая лицензиатом лицензиару за весь срок действия лицензионного договора. Такой способ удобен при четком прогнозировании доходов и часто используется, когда стороны хотят избежать длительных расчетов. По большому счету, самый распространенный способ на данный момент.

Роялти – периодические платежи, обычно рассчитываемые как процент от прибыли, выручки или объема продаж лицензиата. Этот вид платежа позволяет лицензиару быть заинтересованным в успехе лицензиата и снижает первоначальные финансовые риски для последнего.

Комбинированный платеж – сочетает в себе элементы паушального платежа и роялти: лицензиат вносит первоначальный авансовый платеж, а затем выплачивает периодические роялти в течение срока действия договора. Этот подход балансирует интересы обеих сторон и часто применяется на практике. Для целей настоящей статьи он наиболее интересен в связи со структурой базовой формулы:

Цена лицензии Ц_л представляет собой сумму предоплаты ПП и прибыли П лицензиата, умноженной на величину процентной ставки роялти *r*,

$$Ц_{л} = ПП + П \times r.$$

Согласно статье ч. 3 ст. 1260 Гражданского кодекса Российской Федерации, в случае с любым использованием переработки музыкального произведения (то есть производного произведения) мы сталкиваемся с двумя сущностями: непосредственно произведением (оригинальное произведение) и производным произведением. В связи с этим для переработки достаточно получить от правообладателя лицензию именно на переработку оригинального произведения. А для любого использования переработки, то есть производного произведения, необходимо иметь лицензию на использование оригинального произведения. Заметим, что, как правило, такие лицензии не являются исключительными.

В связи с этим (по аналогии с комбинированным платежом упомянутым выше) смоделируем структуру цены «комбинированной» лицензии на использование кавер-версии музыкального произведения:

- стандартизированная ставка (*St*) стоимости лицензии для переработки музыкального произведения (аналогична «предоплате» из описанной выше формулы);
- основанный на статистических данных о прослушиваниях линейно нормированный коэффициент (например, от 0 до 10) популярности (*K_p*) музыкального произведения как некоторый основополагающий фактор, при этом для обеспечения интересов правообладателя значение *K_p* меньше 1 принимается за равное 1 (о возможности выявить такие сведения на основе больших данных мы упомянули ранее);
- роялти за использование оригинального произведения, выраженное в процентном соотношении от прибыли/выручки лицензиата за использование объекта;
- другие коэффициенты, связанные, например, с истечением срока действия исключительного права, территорией действия и т.д.

Таким образом, на основе предложенной выше модели получаем базовую формулу:

$$Ц_{л} = St \times K_p + П \times Д \dots,$$

где П – прибыль/выручка, полученная при использовании лицензиатом объекта, а Д – процентная ставка дохода лицензиара.

Для наглядности смоделируем ситуацию, когда руководством кавер-группы «Царь и Скоморох» было принято решение добавить в свой репертуар песню «Кукла Колдуна» группы «Король и Шут». Подставим данные, полученные нами при осуществлении упомянутого в настоящей статье разведочного исследования мнения артистов о механизмах лицензирования кавер-версий. Среди вариантов ответа на вопрос об оптимальной стоимости лицензии респондентам были предложены интервалы, по середине которых рассчитано среднее значение, равное 7222 рублям. Также для наглядности подставим данные одного из массива данных известной стриминговой площадки, находящиеся в открытом доступе [9]. В ячейке на пересечении строки с популярной песней «Кукла колдуна» со столбцом «popularity» находится уже нормированное (от 0 до 100) значение 57, которое мы переведем в шкалу от 1 до 10, разделив на 10. Предположим, что лицензиар готов предоставить неисключительную лицензию на исполнение по ставке роялти 1% от прибыли, полученной при использовании

лицензиатом объекта. Кавер-группа «Царь и Скоморох» выступила в течение года 38 раз, стоимость выступлений была одинаковой и составила 225000 рублей за выступление, а количество объектов интеллектуальной собственности в репертуаре каждый раз было равно 15. По завершении года кавер-группа «Царь и Скоморох» предоставила лицензиару отчет, в котором была достоверно отражена их активность.

Следовательно, на основе данных, взятых нами для иллюстрации, получаем значение:

$$\text{Цл} = (7222 \text{ руб.} \times 5,7) + ((225000 \text{ руб.}) / (15 \text{ ОИС}) \times 38 \times 1\%) = 46\,865,40 \text{ руб.}$$

Заметим, что полученное значение является ценой лицензии за первый год использования произведения. Лицензионные платежи за последующие годы уже не включают в себя стоимость лицензии на переработку произведения, если за ней не последует иная переработка.

Конечно, расчеты являются грубыми, упомянутые стандартизированная ставка и коэффициенты в настоящий момент являются величинами лишь теоретическими и требующими обсуждения и последующего консенсуса заинтересованных сторон, а возможность расчета коэффициентов, упомянутых в статье, требует заинтересованности операторов данных и проведения некоторой аналитической работы. Однако предполагается, что такой подход вместе с созданием единой платформы для лицензирования кавер-версий музыкальных произведений может повысить прозрачность и правовую определенность в этой сфере деятельности.

Подводя итог, повторим, что существующая правовая и экономическая неопределенность в сфере лицензирования кавер-версий музыкальных произведений является барьером для легализации данного сегмента рынка и требует дальнейшей проработки прозрачных и экономически обоснованных механизмов как лицензирования, так и ценообразования. Концепция расчета стоимости лицензии, комбинирующая стандартизированную ставку за переработку (аналог паушального платежа) и роялти, коррелирующее с популярностью оригинального произведения и прибылью лицензиата, требует обсуждения и практической апробации. Особенно интересным видится выявление на практике нормированного коэффициента популярности. Реализация этого условия зависит от коммерческой политики самих платформ и их готовности раскрывать и унифицировать такие данные, что является отдельной масштабной проблемой. Апробация же модели на условном примере демонстрирует ее потенциальную работоспособность и эффективность для расчета справедливого вознаграждения правообладателя. Внедрение модели в совокупности с созданием специализированной цифровой платформы, по нашему мнению, способно легитимизировать значительный массив правоотношений, повысить уровень правовой определенности и защищенности авторских прав, а также стимулировать дальнейшее развитие легального рынка кавер-версий в Российской Федерации.

Список использованных источников

1. IFPI Global Music Report 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ifpi.org/wp-content/uploads/2024/03/GMR2025_SOTI.pdf (дата обращения: 18.09.2025).
2. Бернская конвенция об охране литературных и художественных произведений 1886 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.wipo.int/treaties/ru/text.jsp?file_id=283698 (дата обращения: 18.09.2025).
3. Гаврилов Э.П. Комментарий к Закону об авторском праве и смежных правах (постатейный). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Экзамен, 2005. 384 с.
4. Иванов Н. В. Авторские и смежные права в музыке: учебно-практическое пособие /под ред. А. П. Сергеева. Москва: Проспект, 2015. 176 с.
5. Обзор судебной практики рассмотрения гражданских дел, связанных с нарушением авторских и смежных прав в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vsrfr.ru/documents/all/33621/> (дата обращения: 18.09.2025).
6. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть четвертая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64629/ (дата обращения: 18.09.2025).
7. НФМИ подвела итоги развития рынка музыкального стриминга за 2024 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nfmi.ru/news/nfmi-podvela-itogi-razvitiya-rynka-muzykalmaznogo-striminga-za-2024-god.html> (дата обращения: 18.09.2025).

8. Котенева О.Е., Николаев А.С. Коммерциализация объектов интеллектуальной собственности с помощью договоров распоряжения: учебно-методическое пособие / О.Е. Котенева, А.С. Николаев. – СПб.: Университет ИТМО, 2021. 62 с.
9. Spotify Tracks Dataset. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kaggle.com/datasets/maharshipandya/-spotify-tracks-dataset/data> (дата обращения: 18.09.2025).

УДК 658.5.012.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАТЕНТНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНЖИНИРИНГА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Митягина М.Н. (ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н., доцент Мурашова С.В. (ИТМО)

e-mail: maryamolll@yandex.ru

В работе представлено описание особенностей и обоснование необходимости проведения патентных исследований для решения проблем и вопросов, связанных с организацией производства. Предложена методика инжиниринга элементов цепочки создания ценности через патентные исследования по ГОСТ 15.011-2024. Апробация методики проведена на основе одного из основных технологических процессов производства катушек индуктивности на предприятии электроэнергетической отрасли.

Ключевые слова: организация производства, инжиниринг, управление качеством, интеллектуальная собственность, патентные исследования по ГОСТ, промышленная собственность.

Введение

Организация производства представляет собой целенаправленную деятельность по объединению компонентов в единую систему, обеспечению их функционирования и взаимодействия в ходе реализации технологических процессов по преобразованию входных ресурсов в плановый результат. Элементами, входящими в общую цепочку создания ценности продукции, являются активы: оборотные и внеоборотные, а также ресурсы: информационные и трудовые. Координация элементов производства является комплексным итеративным процессом, требующим принятия решений на всех уровнях пирамиды управления.

Достижению стратегической цели предшествует совокупность тактических мероприятий, выполнение которых находится под влиянием ряда общесистемных факторов, оказывающих воздействие как на протекание оперативных действий, так и их результат. Возникающие в технологических процессах барьеры формируют условия для появления проблем, следствием которых являются несоответствия, то есть невыполнения установленных требований согласно ISO 9001:2015. Таким образом, возникают производственные потери, которые ведут к избыточным затратам на организацию производства и при этом не добавляют реализуемому продукту ценности. Значит, выполнение поставленных предприятием целей находится под угрозой, поскольку на каждом их этапов цепочки создания ценности есть факторы, которые создают условия для нарушения процедур системного взаимодействия.

Для нивелирования негативных последствий, связанных с невыполнением установленных требований к качеству продукции, что влечёт за собой снижение экономической эффективности производства, необходимо предпринимать действия, направленные на изменение сложившихся условий протекания технологических операций. Одним из методов, ориентированных на трансформацию имеющихся порядка взаимодействия элементов системы производства, является инжиниринг бизнес-процессов.

Исследование особенностей инжиниринга элементов производства

Согласно ГОСТ 57306-2016, инжиниринг является инженерно-консультационной деятельностью, направленной на решение инженерных задач, связанных с созданием или совершенствованием продукции, систем или процессов [1]. Стоит отметить, что понятие инжиниринга хотя и тесно связано с этапами НИР и ОКР инновационного процесса, но в неполной степени соответствует их целевому предназначению. Так, инжиниринг является практикой, целью которой является не столько улучшение отдельных показателей конкретного элемента производства, сколько создание условий для проведения изменений, которые в последние и будут способствовать росту индикаторов элементов технологических процессов. Это означает, что инжиниринг – предшествующей перед основными НИОКР этап или надстройка над базовой изобретательской деятельностью, так как оказывает влияние на ход её протекания через сбор, накопление и систематизацию информации из различных областей технических, экономических, социальных, правовых областей научных знаний [1, 2]. Следовательно, инжинирингу присущ кросс-функциональный характер, который

подразумевает не только привлечение специалистов различных областей для решения одной задачи, но устранение обособленности подразделений организации [3]. Значит, можно утверждать, что в результате становится возможным достижение синергетического эффекта, проявляющегося в формировании комплексной базы знаний относительно предмета исследований, а также способов решения поставленной проблемы [1, 3]. Следствием является снижение энтропии применительно к вопросам разработки и проектирования объекта, а также операций и поведения самого объекта на других этапах жизненного цикла.

Поскольку предметом инжиниринга является именно процесс научно-технического творчества, направленного на решение инженерно-практических задач, то следует определить ресурсы, необходимые для его реализации. Во-первых, как было описано ранее, необходимо привлечь специалистов различного профиля для того, чтобы провести всесторонний анализ поставленной задачи. Таким образом, становится возможной ситуация, при которой поиск путей решения проблем реализуется с учетом двух и более точек зрения специалистов различных подразделений. Преимуществом кросс-функционального управления является возможность обмена знаниями из различных областей между участниками инновационной деятельности, что является крайне необходимым для понимания полноценной картины относительно уровня научно-технического развития объекта, социальных требований, сложившейся на рынке конкурентной ситуации, а также требований законодательства. Это означает, что каждый из сотрудников пополняет общую базу знаний об объекте исследований.

Помимо трудового ресурса необходимо обозначить ещё один ключевой фактор, определяющий эффективность инжиниринга, а именно – информацию [4]. Процесс накопления знаний реализуется посредством совокупности действий, направленных на поиск сведений об объекте исследований, его субститутах и компонентах, отбору релевантных данных, а также формированию вывода о целесообразности реализации определённых операций относительно поставленной задачи. Иными словами, необходимо провести исследования с применением специализированных баз данных: научных, маркетинговых, правовых и иных – для того, чтобы определить, как поставленная проблема решается другими субъектами инновационного процесса, а также какие ресурсы требуется привлечь или какие действия необходимо предпринять, чтобы нивелировать имеющиеся противоречия.

Существуют различные источники, содержащие информацию действиях и результатах иных хозяйствующих субъектов, такие как модели и методики организации производственной деятельности, порядок и приёмы реализации технологических операций, другие особенности обеспечения продукции на стадиях жизненного цикла. Как правило, подобные базы данных можно разделить на два вида: являющиеся открытыми (общедоступными) или закрытыми, то есть предназначенными для служебного пользования сотрудниками конкретной организации для выполнения должностных обязанностей.

Что касается информации, которая представляет собой непосредственную ценность для инжиниринга, то зачастую она является служебной. Сведения об особенностях организации производства не раскрываются в публичных ресурсах и базах данных для того, чтобы у конкурентов не было прямой возможности ознакомиться с ней для целей копирования и внедрения в свою деятельность. Это происходит потому, что подобная информация является источником формирования конкурентного преимущества как реализуемой продукции, так и организации в целом. И если предоставить к ней открытый доступ, то уникальные элементы производства станут повсеместными, что будет означать потерю тех факторов, которые способствуют обеспечению уникальности и потребительской привлекательности товаров.

Одним из легальных способов узнать информацию об особенностях организации производства других субъектов деятельности является проведение патентных исследований. Согласно данным [5], от 70 до 90% всей технической информации, содержащей сведения об элементах технологических процессов, можно обнаружить только в охраняемых документах (патентах и свидетельствах) и нельзя выявить в других открытых информационных источниках. Это формирует вывод о ценности навыка проведения исследований с применением баз данных, содержащих патентную документацию.

Выполнение патентных исследований необходимо для выявления особенностей известных технических решений (изобретений и полезных моделей), а также решений внешнего вида (промышленных образов). Иными словами, данные исследования направлены на анализ сложившейся на момент проведения экспертизы патентной ситуации, как положения, характеризующего не только уровень научно-технического развития, но и правовой статус имеющихся на рынке элементов технологий.

Понятие патентной ситуации

Патент – это документ, который устанавливает субъектный и объектный состав правоотношений относительно технического решения или решения внешнего вида, получившего правовую охрану. Это означает, что в патенте содержится информация об авторах и правообладателях запатентованного решения, а также информация об охраняемом объекте, которая изложена в заявке, формуле, описании, реферате и рисунках. Патент выдаётся только в том случае, если решение отвечает критериям патентоспособности, установленным в [6].

Согласно ГК РФ ст. 1354 патент удостоверяет приоритет, авторство и исключительное право на изобретение, полезную модель или промышленный образец. При этом важно отметить, что исключительное право на использование запатентованного решения можно передать путём заключения договора распоряжения, например, лицензии. Таким образом, лицензиар передаёт права на использование (ст. 1358 ГК РФ) объекта интеллектуальной собственности лицензиату в определённых условиях, установленным способом, в конкретных географических и временных рамках. В результате запатентованное решение могут использовать два и более лица, если это предусмотрено договором. Значит, анализировать суть патентной ситуации необходимо через описание именно патентно-лицензионной деятельности [7].

Итак, патентная ситуация – это совокупность технических, экономических и правовых характеристик, описывающих текущее состояние и динамику развития объектов промышленной собственности в отношении конкретной технологической ниши, сегмента рынка или отрасли в целом.

Технические индикаторы, характеризующие патентную ситуацию, отражают соответствие объектов критериям охраноспособности. Через исследование единичных и комплексных показателей качества изобретения, которые отражают новизну, изобретательский уровень, промышленную применимость каждого конкретного решения, можно сформировать совокупность выводов относительно уровня техники, степени и характера инновационности, порядка достижения технического результата, особенностей эксплуатации продукта. Анализ проводится с учётом изложенных в частях документа качественных и количественных данных, которые, путём сопоставления с имеющейся информацией о других решениях в выбранных границах исследования, дают основания для оценки уровня научно-технического развития и перспектив для совершенствования.

Экономические характеристики связаны с данными о порядке коммерциализации запатентованного решения, в частности, количестве, видах, существенных условиях заключаемых договоров распоряжения.

Правовые показатели патентной ситуации отражают аспекты не только охраны, но и защиты объектов промышленной собственности. Примерами индикаторов данной группы являются юридический статус заявок и патентов, размер патентного семейства, количество и структура правообладателей, а также наличие споров или признанных недействительных (аннулированных) документов. Кроме того, правовую характеристику каждого конкретного патента составляет формула, которая и определяет объём правовой охраны технического решения.

Патентная ситуация характеризует как каждый определённый объект исследований, так и предметную область в совокупности. Причём патентную ситуацию необходимо анализировать в динамике и с применением модульного принципа, моделируя текущую ситуацию через достижения в ретроспективе и планируя изменения в будущем через

проблемы уровня техники в настоящем. Выявление и анализ описанных выше показателей реализуется путём проведения патентных исследований.

Разработка методики проведения патентных исследований для инжиниринга элементов технологических процессов

Патентные исследования являются одним из видов прикладных научных исследований, объектом которых являются элементы хозяйственной деятельности организации. Проведение исследований традиционно проводится в несколько этапов:

- подготовительный, на котором определяются основные положения и обосновываются направления поиска информации;
- основной аналитический этап, который реализуется путём сбора и систематизации информации, а также подготовки отчёта;
- заключительный этап, связанный с формированием выводов и принятия решений относительно дальнейших этапов работ.

В настоящей статье за основу методики будет взят порядок проведения патентных исследований, выполняемых по ГОСТ 15.011-2024 [8], а также элементы методологии бережливого производства [9].

Первично необходимо определить объект исследования, то есть технологический процесс, а также предмет: конкретную операцию, ресурс или результат цепочки создания ценности, который необходимо подвергнуть инжинирингу. Выбор данных положений исследований продиктован возникающими в производственных процессах проблемами, результатом которых являются потери. Соответственно, определение имеющихся проблем тесно связано с формированием образа будущего – желаемого результата, которого необходимо достичь по окончании полного цикла стадий инжиниринга. Таким образом, определяется и цель патентных исследований, которая обусловлена прежде всего необходимостью обеспечения условий для проведения дальнейших НИР и ОКР.

Следующим шагом проводим патентные исследования на уровень техники, патентоспособность и патентную чистоту или целевые для определённого на предыдущем шаге объекта, а также с учётом установленных целей инжиниринга и планируемого результата. Проведение исследований по ГОСТ 15.011-2024 начинается с составления задания и утверждения регламента. Далее реализуем поисковые запросы в базах данных, среди которых, для анализа российского сегмента патентования, является поисковая платформа Роспатента и информационно-аналитическая система ФИПС, а для международного – Espacenet, Questel Orbit, Patentscope и другие. В заключении этапа формируем отчёт с учётом требований ГОСТ 7.32-2017.

Поскольку реализуемые патентные исследования направлены на решение поставленных задач трансформации элемента производственного процесса, то следующим этапом результаты исследований сложившейся патентной ситуации направляются в ответственные за НИР и ОКР подразделения для разработки плана действий по развитию предмета исследований с целью нивелирования имеющихся в системе производства проблем. Представим основные этапы и выполняемые операции методики проведения патентных исследований для целей инжиниринга элементов цепочки создания ценности на рисунке 1.

Стоит отметить, что в рамках реализации стратегии НИОКТР, в которой подразумевается создание охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности, необходимо проведение нового цикла патентных исследований в следующем порядке:

1. Патентные исследования на уровень техники и определение тенденций развития: для выявления аналогичных технических решений, решающих идентичную проблему, и анализа достигаемых технических результатов, а также оценки перспектив и направлений развития технологии.
2. Патентные исследования на патентоспособность: определение охраноспособных результатов интеллектуальной деятельности и выбор формы правовой охраны.

3. Патентные исследования патентную чистоту: для определения вероятности нарушения исключительных прав на объекты интеллектуальной собственности третьих лиц на определённой территории.



Рис. 1. Алгоритм исследования патентной ситуации для многоцелевого процесса инжиниринга производственных элементов

В ходе основных этапов разработки и производства, а также после их завершения целесообразно проводить периодические целевые патентные исследования. Это объясняется необходимостью не только выявления случаев нарушения своих исключительных прав на запатентованный объект и разработки стратегии правовой защиты, но и выявления инсайтов относительно развития объекта хозяйственной деятельности организации. Таким образом, предложенная методика может стать неотъемлемым элементом системы менеджмента качества организации, способствующим обеспечению основного принципа TQM (Total quality management) – постоянному улучшению всех составляющих цепочки создания ценности. Внедрение методов патентной аналитики в регулярную управленческую практику может помочь в выявлении технологических трендов, обнаружении перспективных направлений развития технологий, что способствует своевременной инициации инновационных процессов для недопущения устаревания отдельных элементов технологии или формирования системных противоречий в функционировании организационных элементов в течение производства продукции. Представим в таблице примерные цели патентных исследований, которые формируются с учётом потребностей инжиниринга элементов технологий, и соотнесём их с формами, расположенными в приложении Г в ГОСТ 15.011-2024, которые необходимо заполнить в случае появления необходимости проведения целевых патентных исследований.

Апробация методики

Рассмотрим пример применения патентных исследований для инжиниринга одного из основных производственных процессов для предприятия электроэнергетической отрасли. Пусть в технологическом процессе намотки катушек индуктивности возникают проблемы, связанные с нарушением процесса укладки витков катушки, что приводит к формированию зазоров и смещений между слоями из-за неравномерного распределения витков. Следствием является несоблюдении установленных в документации требований к качеству продукции, выраженных в снижении индуктивности, а также увеличении сопротивления и тепловых потерь. В результате приёмо-сдаточных испытаний обнаружен высокий процент брака, превышающий установленное значение в 3%. Необходимо разработать рекомендации для повышения качества процесса намотки катушек.

Таблица. Соотношение целей инжиниринга и материалов, оформляемых в рамках патентных исследований по ГОСТ 15.011-2024, расположенных в приложении Г

Форма из рекомендуемого приложения Г	Г.1 Исследование уровня техники		Г.2 Исследование патентоспособности и правовая охрана		Г.3 Исследование патентной чистоты	
Цель проведения патентных исследований	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Разработка, создание, проектирование новых элементов производства						
Обоснование необходимости инициации и планирование инновационной деятельности	×	×	×			×
Исследование темпов инновационного развития отрасли, отдельных технологий	×	×				×
Анализ необходимости выполнения отдельных работ на стадиях ЖЦ через бенчмаркинг	×	×	×	×	×	×
Доработка, развитие и оптимизация имеющихся элементов						
Поиск путей повышения показателей качества продукции или выполнения операций	×	×		×		×
Превентивное управление устареванием элементов хозяйственной деятельности	×	×		×		×
Изыскания новой целевой функции элемента производства	×	×				×
Иные направления применения патентных исследований на отдельных этапах инжиниринга						
Обоснование целесообразности передачи отдельных функций на аутсорсинг	×	×		×	×	×
Обоснование правомерности использования и эксплуатации элементов технологий	×		×			
Поиск готового решения для трансфера технологий или промышленной кооперации	×	×	×	×	×	×
Изыскание ресурсов (оснастка, материалы, оборудование)	×			×		×
Реинжиниринг	×	×	×	×	×	×

Для решения поставленной задачи проведём анализ текущей патентной ситуации путём проведения патентных исследований. Определим, что поиск будет реализован в соответствии с заданием из приложения А и регламентов из приложения Б по ГОСТ 15.011-2024. Отметим, что поиск будет проводиться по ключевым словам, характеризующим объект исследования, на русском и английском языках с применением как отечественных, так и международных патентных и непатентных баз данных. Глубина поиска установлена без ограничений. Будет проводиться анализ всех общедоступных сведений, ставшими известными на дату проведения исследований.

Представим фрагмент отчёта о поиске, согласно приложению В описанного ранее межгосударственного стандарта. С применением баз данных [10–13] был реализован ряд поисковых запросов. Отобразим их результаты на рисунках 2 и 3, где представлены части обязательных для заполнения таблиц В.6.1 и В.6.2, которые содержат информацию о найденных патентных и непатентных документах, отобранных для анализа.

Объект исследования, его составные части	Вид и номер документа, режим действия	Наименование ОИС	Заявитель (патентообладатель)	МПК	Дата приоритета / дата публикации
Катушка индуктивности	2	3	4	5	6
	RU 228 758 U1 Может прекратить свое действие	Устройство намотки катушек индуктивности	ООО «Аддитивные технологии малых и средних серий» [RU]	H01F 41/04, H01F 27/28	10.06.2024 / 11.09.2024
	RU 2 335 362 C2 Не действует	Намоточное устройство для катаного или тянутого провода/прутка с устройством захвата витка для автоматической намотки	С.И.М.А.К. С.П.А. [IT]	B21C 47/32	03.03.2004 / 10.10.2008
	CN 221379160 U Действует	Automatic winding machine for winding coil inductor	SHENZHEN SAN TUO ELECTRONICS [CN]	H01F 041/06	30.11.2023 / 19.07.2024
	EP 4260351 A1 Действует	Coil, process for manufacturing a coil, and assembly	WUERTH ELEKTRONIK EISOS [DE]	H01F*	11.12.2020 / 02.12.2021
	RU 2 535 838 C2 Действует	Катушка индуктивности и способ её изготовления	ЗАО «Ником» [RU]	C25D 11/00, H01F 5/02, H01F 27/28	19.11.2012 / 20.12.2014

Рис. 2. Пример заполнения обязательной таблицы В.6.1: Патентная документация

На рисунках 2 и 3 представлен перечень документации, которая была отобрана для дальнейшего анализа. Выявленные запатентованные технические решения направлены на решение поставленной проблемы процесса намотки.

Найденная информация передаётся в подразделения, которые непосредственно ведут составные части ОКР или НИР, для ознакомления профильных специалистов с известными техническими решениями в исследуемой области. На их основании и строится дальнейшая стратегия трансформации элементов цепочки создания ценности. В частности, можно утверждать, что последующие действия относительно найденных технических решений будут зависеть от статуса документа и территории действия патента, а также сущностной части того, что будет извлечено из патентной документации для интеграции деятельности организации. Рассмотрим особенности патентов из перечня с рисунка 2:

- первый из указанных патентов на текущий момент является действующим, хотя в ближайшее время может прекратить действие по причине неуплаты государственной пошлины: значит, если описанное решение полностью подходит под потребности производства, то целесообразно заключить лицензионный договор с правообладателем для получения права использования данного решения, однако, если пошлина оплачена не будет, тогда изобретение перейдёт в общественное достояние и использовать данное устройство можно будет свободно без чьего-либо согласия (ГК РФ ст. 1364);
- патент RU 2335362 C2 не может быть восстановлен, поскольку закончился нормативный срок его действия, соответственно, использовать его можно свободно без получения на это права от правообладателя;
- решение, описанное в патенте CN 221379160 U1, получило правовую охрану только на территории Китая, поэтому использовать на территории России его можно без правовых

последствий при условии, что правовое поле данного устройства ограничено исключительно данным документом;

- исследование патентного семейства EP 4260351 A1 показало, что решение получило правовую охрану в России, значит, на его использование необходимо получить соответствующее разрешение от правообладателя;
- последний патент тоже является действующим, поэтому в данном случае также необходимо заключить один из видов договоров распоряжения с правообладателем.

Что касается непатентной научно-технической литературы, то использовать описанную в ней информацию об особенностях организации производства катушек индуктивности можно свободно, поскольку источники информации являются открытыми, однако всегда необходимо проверять действие исключительных прав на то или иное описанное в литературе устройство или способ.

Объект исследования, его составные части	Наименования источника информации с указанием страницы источника	Автор, организация (обладатель) технической документации	Год, место и орган издания (утверждения, депонирования источника)
1	2	3	4
Катушка индуктивности	Bi-Filar Coil Winding for Fast Quench Protection. PP :1-6.	Moussa Sari, Youcef Ouazir	2022, IEEE International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM). Volume: 34, Issue: 5.
	To the theoretical description of the losses in inductance coils. PP. 19-29.	A.S. Yurkov	2018, Radio Communication Technology, № 4(39).
	Handbook of coil winding: Technologies for efficient electrical wound products and their automated production. P. 308.	Jürgen Hagedorn, Florian Sell-Le Blanc, Jürgen Fleischer	2017, Springer Vieweg.

Рис. 3. Пример заполнения обязательной таблицы В.6.2: Научно-техническая, конъюнктурная, нормативная документация и материалы государственной регистрации (отчеты о научно-исследовательских работах)

Согласно данным, содержащимся в источниках, представленным на рисунке 3, можно утверждать, что в целях искоренения нарушений процесса укладки витков катушки, необходимо предпринять действия по смене техники намотки, изменению состава пропитки для повышения качества фиксации витков друг к другу, также замене оборудования или его отдельных элементов, например, регулятора натяжения с тензодатчиком. Описанные рекомендации отбираются профильными специалистами и с учётом технических характеристик основных производственных мощностей разрабатывается план по нивелированию имеющихся противоречий. Как было описано ранее, специалист по интеллектуальной собственности в дальнейшем также сопровождает каждый из этапов НИОКТР для того, чтобы провести анализ актуальной патентной ситуации, а также разработать стратегию паровой охраны создаваемых результатов интеллектуальной деятельности.

Заключение

Предложенная методика инжиниринга элементов технологий является универсальной, то есть направленной на решение проблем, возникающих не только в основных, но и управляющих, вспомогательных процессах предприятия. Кроме того, методика учитывает каждый из элементов цепочки создания ценности, задействованный в ходе реализации совокупности технологических операций, а именно все входы и выходы процессов. Таким образом, становится возможной ситуация, при которой всестороннему анализу и корректировке может быть подвержен любой фактор, влияющий на достижение стратегической цели организационной системы.

Список использованных источников

1. ГОСТ 57306-2016 Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга - Москва: Российский институт стандартизации, 2018. 9 с.
2. Нецветов А.Г. Терминология и основные понятия в области инжиниринга // Уголь. 2020. №. 10 (1135). С. 42–48.
3. Митягина М.Н., Николаев А.С. Механизм кросс-функционального управления результатами интеллектуальной деятельности в организациях // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2025. № 5. С. 48–56.
4. Гороховицкая Ю.О. Тихонов Ю.А. Информация как ресурс развития предприятия // Вестник ГУУ. 2014. №. 2. С. 37–43.
5. Why researchers should care about patents. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://investigacion.usal.es/sites/investigacion.usal.es/files/documentation/empresas/why_researchers_should_care_patents.pdf (дата обращения: 07.09.2025).
6. Гражданский кодекс Российской Федерации. Части первая, вторая, третья и четвертая. - Москва: Проспект, 2024. 784 с
7. Рожнов А.Б. Патентные исследования. Анализ патентной ситуации : учеб, пособие / А.Б. Рожнов, В.Ю. Турилина. - М. : Изд. Дом МИСиС, 2015. 75 с.
8. ГОСТ Р 15.011-2024 Патентные исследования. Интеллектуальная собственность. Содержание и порядок проведения - Москва: Российский институт стандартизации, 2024. 24 с.
9. Womack J.P., Jones D.T. Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in your Corporation // Journal of the Operational Research Society. 1997. №. 48(11). P. 1148.
10. Информационно-поисковая система. ФИПС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/> (дата обращения: 07.09.2025).
11. Patent Analytics and Search Software. Orbit Intelligence. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.09.2025).
12. Search Publications. ResearchGate. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.researchgate.net> (дата обращения: 07.09.2025).
13. Publications and Research. IEEE Xplore. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ieee.org/publications-research> (дата обращения: 07.09.2025).

УДК: 338.23

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ К БИЗНЕСУ

Сенникова А.В. (аспирант, ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н., доцент Гаврилюк Е.С. (ИТМО)

e-mail: senny_sennik@mail.ru

В статье анализируются системные барьеры трансфера технологий от научных организаций к бизнесу и предлагаются элементы синергетического подхода к моделированию данного процесса. На основе методов системного и междисциплинарного анализа выявлены ключевые проблемы: правовая неопределенность в вопросах установления прав на РИД, недофинансирование инфраструктуры трансфера, отсутствие унифицированных бизнес-моделей ЦТТ, а также их слабая интеграция с запросами промышленности. Обоснована необходимость создания целостной инновационной экосистемы, требующей скоординированных действий по развитию нормативно-правовой базы, формированию устойчивых бизнес-моделей, привлечению инвестиций и развитию кадрового потенциала. Перспективы исследований видятся в разработке методик оценки эффективности трансфера и адаптации международных практик.

Ключевые слова: *трансфер технологий, интеллектуальная собственность, инновация, коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности, центр трансфера технологий.*

Современная экономика знаний характеризуется возрастающей ролью инноваций как ключевого фактора конкурентоспособности и устойчивого развития. В этом контексте критически важным становится эффективный механизм трансфера технологий, обеспечивающий передачу результатов научных исследований и разработок из академической среды в реальный сектор экономики. Университеты и научные организации, выступая генераторами новых знаний и технологий, сталкиваются с комплексом сложных задач, связанных с их коммерциализацией.

Несмотря на признанную значимость процессов трансфера, их практическая реализация в России сопряжена с многочисленными вызовами. К ним относятся правовая неопределенность в вопросах интеллектуальной собственности, дефицит финансирования и инвестиций, операционно-организационные барьеры, а также острая нехватка квалифицированных кадров, способных работать на стыке науки и бизнеса. Центры трансфера технологий (ЦТТ), призванные быть ключевыми инфраструктурными элементами в преодолении этих барьеров, зачастую сами сталкиваются с проблемами формирования устойчивых бизнес-моделей и интеграции в национальную инновационную систему.

Данная статья посвящена анализу современных проблем и выявлению детерминант успешного трансфера технологий от научных организаций к бизнесу. Целью работы является систематизация ключевых барьеров, препятствующих эффективной коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности (РИД), и рассмотрение комплексного, синергетического подхода к моделированию данного процесса, способного интегрировать усилия всех участников инновационной экосистемы.

Современные исследования в области управления инновационной деятельностью учебных учреждений и научных организаций рассматривают широкий спектр проблем, возникающих в рамках осуществления коммерциализации. Центральное место занимает оценка эффективности трансфера технологий, для которой применяются современные методы анализа, включая различные финансово-экономические методы. Предлагаются комплексные подходы, направленные на создание сквозного процесса: от выявления рыночного спроса и генерации технологического решения через механизмы проектной деятельности и НИОКР до обеспечения правовой охраны и коммерциализации РИД через лицензионные соглашения [1, 2, 3]. Исследования направлены на создание устойчивой экосистемы трансфера технологий, в которой университет и/или научная организация выступает не только генератором знаний или РИД, но и активным участником гражданского оборота, обеспечивая передачу научных достижений в реальный сектор экономики. Ключевым инструментом для решения данной задачи выступают центры трансфера технологий (ЦТТ). Однако их

формирование в российских вузах сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем: отсутствие устоявшейся бизнес-модели, дефицит производственных мощностей, высокие риски и длительный срок окупаемости, отпугивающие инвесторов, а также критическая нехватка квалифицированных кадров, способных работать на стыке науки и рынка.

Значимое направление в рамках исследования процессов трансфера технологий связано с глубоким анализом их отраслевой и технологической специфики. Эмпирические и теоретические изыскания в данной области фокусируются на выявлении и систематизации детерминант, которые опосредуют успешность передачи и последующей ассимиляции новых знаний и разработок. Ряд исследователей анализируют [4], как отраслевая принадлежность и степень технологической близости различных компаний влияют на успешность интеграции формируемых знаний. Сравнительная эффективность осуществляемых сделок оценивается с точки зрения снижения информационной асимметрии и облегчения когнитивной координации между научными сотрудниками и представителями предпринимательства.

Исследователи выделяют различные проблемы, связанные с выстраиванием моделей трансфера технологий от учебных учреждений к представителям предпринимательства вне зависимости от размера обеих сторон. Выделяются различные правовые, инвестиционные, организационные, операционные, кадровые и инфо проблемы [5]. Наиболее значимым является фактор системности рассматриваемых проблем.

Одной из ключевых проблем является правовая неопределенность, связанная с выявлением наличия объектов интеллектуальной собственности и закреплением исключительных прав на создаваемые в университетах и научных организациях РИД. Здесь возникают факторы, связанные с оценкой наличия критериев служебности [6] РИД. Установление того, был ли РИД создан в связи с выполнением трудовых обязанностей или конкретного задания работодателя, требует глубокого правового анализа и иногда приводит к судебным разбирательствам между вузами и сотрудниками-разработчиками. Эта правовая неясность может дестимулировать как администрацию университета, так и самих ученых, порождая риски оспаривания прав и, как следствие, делая технологии менее привлекательными для потенциальных лицензиатов или инвесторов, для которых чистота титула и однозначность правового режима объекта являются обязательным условием сделки.

Существенным барьером по мнению ряда авторов выступает недостаточное финансирование и низкая инвестиционная привлекательность инфраструктуры трансфера технологий [5]. Экономическая природа центров трансфера технологий (ЦТТ) предполагает длительный инвестиционный горизонт и отсроченную финансовую отдачу, поскольку полный цикл коммерциализации — от выявления идеи до вывода продукта на рынок — может занимать от 7 до 10 лет. В результате бремя финансирования деятельности ЦТТ практически полностью ложится на бюджеты самих университетов или научных организаций, которые зачастую не обладают достаточными и стабильными финансовыми ресурсами для обеспечения не только текущей операционной деятельности центров, но и их стратегического развития, что в конечном итоге ограничивает их потенциал для масштабирования успешных практик и достижения операционной самоокупаемости.

Наряду с правовыми и финансовыми, операционно-организационные проблемы формируют еще один комплекс внутренних ограничений эффективности трансфера. К ним относятся отсутствие унифицированных бизнес-моделей функционирования ЦТТ, слабая связь с промышленными партнёрами, нехватка производственных мощностей для опытного производства, а также узкая специализация деятельности центров, которые часто ограничиваются только патентованием или консалтингом, не предлагая полный цикл коммерциализации. Отсутствие устоявшихся, доказавших свою эффективность унифицированных бизнес-моделей функционирования ЦТТ приводит к их фрагментарной и зачастую несистемной деятельности. Многие центры функционируют в режиме узкой специализации, концентрируясь исключительно на патентовании или оказании консультационных услуг, и не развивают компетенции для управления полным циклом коммерциализации — от экспертизы и защиты РИД до создания малых инновационных

предприятий и вывода лицензий на рынок. Эта проблема усугубляется слабо налаженными каналами коммуникации с реальным сектором экономики, что приводит к разрыву между предлагаемыми университетами и научными организациями технологиями и актуальными запросами промышленности. Кроме того, критическим операционным ограничением является нехватка у университетов и научных организаций необходимых производственных мощностей и лабораторно-испытательного оборудования для создания опытных образцов и проведения опытно-промышленных испытаний, без которых дальнейшая передача технологии в производство зачастую невозможна [7].

Проведенный анализ позволяет констатировать, что процесс трансфера технологий от научных организаций и университетов к бизнесу представляет собой сложную, многогранную проблему, эффективность которой определяется совокупностью взаимосвязанных факторов. Исследование выявило комплекс системных барьеров, препятствующих успешной коммерциализации РИД. К наиболее существенным из них относятся: правовая неопределенность в вопросах установления и защиты исключительных прав, хроническое недофинансирование и низкая инвестиционная привлекательность инфраструктуры трансфера, отсутствие унифицированных и устойчивых бизнес-моделей ЦТТ, а также их слабая интеграция с запросами реального сектора экономики.

Современные исследования трансфера технологий носят междисциплинарный характер, интегрируя подходы из экономики, менеджмента, теории инноваций и корпоративных финансов, и направлены на создание комплексных моделей, объясняющих успешность передачи и усвоения технологий в условиях организационных и рыночных ограничений. А изучение отраслевых и технологических траекторий позволяет не только объяснить дифференциацию в результативности трансфера, но и разработать практические рекомендации по селекции наиболее перспективных партнеров и структурированию взаимодействия для максимизации вероятности успешной коммерциализации инноваций.

Таким образом, построение эффективной национальной системы трансфера технологий возможно лишь через создание целостной инновационной экосистемы, где научная организация выступает не пассивным генератором знаний, а активным и равноправным участником рыночных отношений. Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на разработку конкретных методик и инструментов для оценки эффективности трансфера, а также на изучение лучших международных практик с целью их адаптации к российским социально-экономическим условиям.

Список использованных источников

1. Лях А.П., Яковец А.Е. Структура университетского трансфера технологий // Ученые заметки ТОГУ. 2023. №. 2. С. 210–214.
2. Терехина С.В. Трансфер технологий и лицензирование // Вестник науки. 2020. №. 5 (26). С. 57–59.
3. Дмитренко В.В., Сайбель Н.Ю. Трансфер технологий в России и за рубежом // Juvenis scientia. 2016. №. 2. С. 104–105.
4. Дранев Ю., Очирова Е., Хармс Р., Миряков М. Оценка эффективности межорганизационного трансфера технологий // Форсайт. 2023. №. 3. С. 20–31.
5. Гулевич Д.П., Прохоренко Р.М., Аникина Ю.А. Проблемы создания трансфера технологий в ВУЗах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. №. 2. С. 901–903.
6. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвёртая): федер. закон от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 01.04.2024) // Собрание законодательства Рос. Федерации. 2006. № 52 (ч. I). Ст. 5496.
7. Крылов П.А. Проблема трансфера технологий от науки в бизнес // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2021. №. 3. С. 220–239.

ИНФОХИМИЯ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ И ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

УДК 544.6.018.23

МОДИФИКАЦИЯ САМОСБОРОК ОКСИДА ГРАФЕНА (GO) И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА (rGO) И ПОДБОР ЛУЧШЕГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Глазкова Д.А. (студент, ИТМО), Смирнов Е.А. (ИТМО)

Научный руководитель: к.х.н., профессор Смирнов Е.А. (ИТМО)

e-mail: glazkova_darya@niuitmo.ru

В работе рассмотрен модифицированный синтез оксида графена с использованием графитового стержня с последующим его восстановлением и соответствующее получение на интерфейсе гексан — вода проводящих подложек с контролем проводимости и адгезии. Подтверждение образования материалов и характеристика их свойств проводилось при помощи приборного центра ИТМО. В будущем планируется создание функциональных покрытий, что станет важным шагом в разработке новых материалов с улучшенными свойствами в области электрохимии.

Ключевые слова: оксид графена, восстановленный оксид графена, интерфейс, степень восстановления, проводящие подложки.

Открытие графена — монослоя атомов углерода, организованных в двумерную гексагональную решётку, стимулировало интенсивные исследования в области наноматериалов благодаря его характеристикам, в том числе высокой электропроводности (порядка 10^6 См·м⁻¹), с практически идентичной подвижностью электронов и дырок ($\sim 1.5 \cdot 10^4$ см²·В⁻¹·с⁻¹), а также теплопроводности, что делает его идеальным кандидатом для прорывных технологий [1]. Его производные — оксид графена (GO) и восстановленный оксид графена (rGO), сохраняя слоистую морфологию, несут на поверхности кислородсодержащие функциональные группы (=O, -OH, -O-, -COOH), количество которых для обоих отличается [2], что придаёт им новые свойства и делает их уникальными для биомедицинских [3], электронных, энергетических применений, в качестве композитных материалов [4].

Ключевым препятствием на пути их коммерциализации является компромисс между функциональностью и электрофизическими свойствами. Химическое окисление графита, синтез GO, основным из которых является метод Хаммерса [5], нарушает sp²-гибридизированную углеродную сеть, превращая её по свойствам близкую к диэлектрику. Последующее восстановление, будь то химическое, термическое или фототермическое, хотя и повышает проводимость rGO, не позволяет полностью устранить структурные дефекты и остаточный кислород. Это приводит к разнице в свойствах между rGO и графеном.

Таким образом, существует насущная необходимость в разработке стратегий, позволяющих точно контролировать степень восстановления и надмолекулярную организацию в плёнках на основе производных графена для одновременного достижения высоких значений проводимости, механической стабильности и гидрофобности/гидрофильности. В настоящем исследовании мы решаем эту задачу путём увеличения размера хлопьев материала и подбора оптимального восстановителя. Предлагаемый подход позволяет настроить структуру материала, что в результате приводит к созданию плёнок с заданными показателями проводимости и прочности. Полученные материалы представляют значительный интерес для электрохимических применений.

Экспериментальная часть

Основные цели, поставленные в ходе работы – это получение максимально возможных по размерам хлопьев GO/rGO с помощью метода Хаммерса с использованием различных по себестоимости материалов, таких как графен и графитовый стержень и соответствующее подтверждение их образования; подбор лучшего восстановителя на основе NaBH_4 , $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$, NH_2OH и варьирование количества с целью регулирования характеристик электропроводности и гидрофильности в том числе для последующего предсказания свойств; создание, соответственно, максимально проводящих тонких мат с помощью метода нанесения на подготовленный трафарет чернил и на границе раздела фаз жидкость – жидкость.

Синтез оксида графена (GO) проводили с использованием модифицированного метода Хаммерса, основанного на известном методе с ключевыми изменениями в составе окислительной смеси и природе прекурсора. В колбу, охлаждаемую в ледяной бане, заливали смесь концентрированных кислот: H_2SO_4 и H_3PO_4 в объемном соотношении 9:1. При постоянном интенсивном перемешивании к кислотам порционно добавляли 1г углеродного материала и соли KMnO_4 и NaNO_3 в соотношении 3 к 2. Смесь оставляли на 6 суток, затем от избытка ионов перманганата избавлялись добавлением перекиси водорода H_2O_2 . Фильтровали деионизированной водой до нейтральной среды и сушили в сушильном шкафу при 70°C .

Для получения проводящих подложек было предложено два метода, представленных на рисунках 1 и 2, соответственно. В первом случае спиртовой раствор с веществом помещался в шприц, при помощи насоса и капилляра наносился на границу системы гексана и воды. После удаления верхней фазы аккуратно поднимался магнитный столик с кремниевыми пластинами. Во втором случае для увеличения адгезии подготовленное для трафарета стекло или пластик помещались на 1 мин в кислородную плазму и промывались деионизированной водой. Затем из термостойкого полиимидного скотча строился макет и на него наносился раствор вещества в диметилсульфоксиде (ДМСО).



Рис. 1. Схема создания подложек на интерфейсе



Рис. 2. Схема создания проводящих подложек на трафарете

Для подтверждения образования полученных материалов использовались ИК–Спектрофотометр с преобразованием Фурье, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) и метод динамического светорассеяния (ДРС) для характеристики размеров полученных частиц.

Обсуждение результатов

На основании данных ИК–Спектрофотометра, представленных на рисунке 3, подтвердили образование кислородсодержащих групп на образцах rGO, восстановленных при помощи $C_6H_7O_6Na$, $NaBH_4$, или NH_2OH , соответственно. Как можно увидеть, для $NaBH_4$ и $C_6H_7O_6Na$ с увеличением количества восстановителя интенсивность кислородсодержащих групп уменьшается, в то время как для NH_2OH такой зависимости не наблюдается. Что говорит о том, что наиболее подходящим восстановителем являются $C_6H_7O_6Na$ и $NaBH_4$.

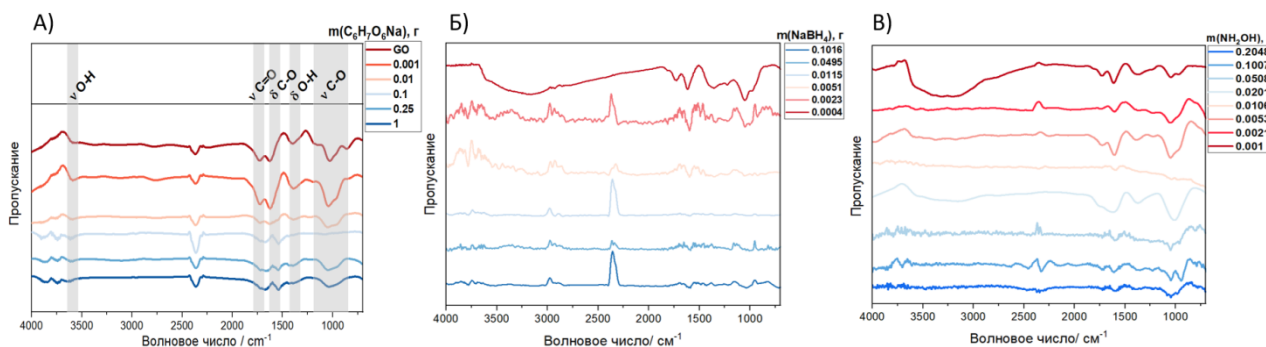


Рис. 3. Ик-спектры образцов rGO: А) rGO, восстановленный $C_6H_7O_6Na$; Б) rGO, восстановленный $NaBH_4$; В) rGO, восстановленный NH_2OH

На СЭМ изображениях (рис. 4), представлены подложки из GO, толщиной до 2 мкм, полученные шприцевым методом, доказывают формирование чешуек площадью около 3 мкм^2 , что значительно больше в сравнении с синтезом GO из обычного графена. Для анализа размерных характеристик, полученных наночастиц GO и rGO было также использовано динамическое светорассеяние (ДРС). На рисунке 5 представлены распределения частиц по гидродинамическому диаметру, полученные для исходного оксида графена (GO) и его восстановленной формы (rGO). Как видно из графиков, средний диаметр составляет $1 \text{ мкм} \pm 0.5 \text{ мкм}$, распределение после восстановления уменьшилось, что говорит об соответствующем удалении кислородсодержащих групп, и формированию более компактных, плотноупакованных агломератов rGO вследствие снижения электростатического отталкивания и роста гидрофобности материала.

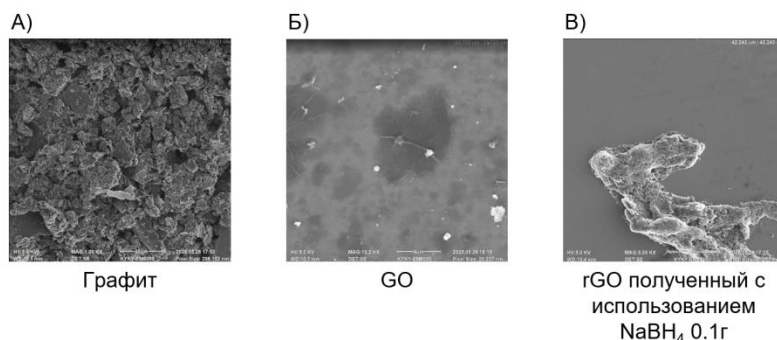


Рис. 4. СЭМ изображения образцов полученных материалов из графитового стержня: А) СЭМ изображение графита; Б) СЭМ изображение оксида графена (GO); В) СЭМ изображение восстановленного $NaBH_4$ оксида графена (rGO)

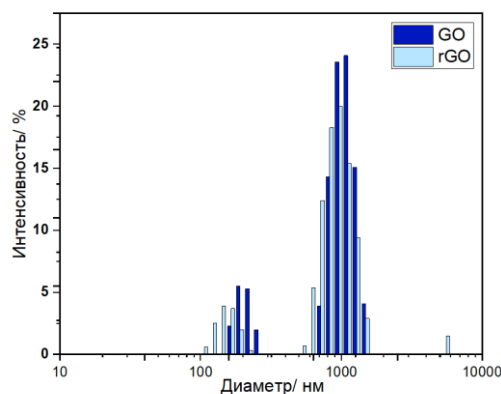


Рис. 5. Интенсивность рассеяния в зависимости от гидродинамического диаметра образцов GO и rGO

Выводы

Проведенное исследование демонстрирует подход к созданию высокопроводящих материалов на основе производных графена с управляемыми свойствами. Ключевые достижения работы заключаются в следующем:

1. Разработана эффективная модификация метода Хаммера для синтеза оксида графена GO с увеличенным латеральным размером чешуек. Оптимизация состава окислительной смеси (введение H_3PO_4 в сочетании с H_2SO_4 и NaNO_3 с KMnO_4) в сочетании с использованием монолитного графитового стержня в качестве прекурсора позволила минимизировать деструкцию углеродной основы и получить чешуйки GO с рекордными размерами, что является критически важным для улучшения электрофизических характеристик конечных материалов.
2. Проведен анализ зависимости свойств rGO от типа и концентрации восстановителя, в результате которого установлено, что боргидрид натрия (NaBH_4) и аскорбат натрия ($\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$) являются наиболее эффективными восстановителями.
3. Апробированы две инновационные методики создания проводящих пленок: самосборка на границе раздела фаз жидкость-жидкость и трафаретное нанесение. Эти методы позволяют создавать крупноразмерные, механически стабильные и высокопроводящие покрытия с заданной архитектурой.

В совокупности, представленная работа — от оптимизированного синтеза и селективного восстановления до метода получения плёнок — открывает путь к масштабируемому производству графеновых материалов с заданными характеристиками. Полученные результаты представляют значительный интерес для разработки нового поколения функциональных материалов. В будущем планируется создание тонких проводящих графеновых самосборок для их последующего применения не только в области электрохимии и электрокатализа, но и в качестве композитных материалов с заданными параметрами характеристик.

Список использованных источников

1. Pang K. et al. Highly conductive graphene film with high-temperature stability for electromagnetic interference shielding // Carbon N. Y. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 179. Pp. 202–208.
2. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene PROGRESS // Nat. Mater. 2007. Vol. 6. №. 3. Pp. 183–191.
3. Liu L. et al. Recent progress of graphene oxide-based multifunctional nanomaterials for cancer treatment // Cancer Nanotechnol. Springer Vienna. 2021. Vol. 12. №. 1. Pp. 1–31.
4. Wu J. et al. Graphene oxide for photonics, electronics and optoelectronics // Nat. Rev. Chem. Springer US, 2023. Vol. 7. №. 3. Pp. 162–183.
5. Lavin-Lopez M.D.P. et al. Influence of different improved hummers method modifications on the characteristics of graphite oxide in order to make a more easily scalable method // Ind. Eng. Chem. Res. 2016. Vol. 55. №. 50. Pp. 12836–12847.

УДК 620.193

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОРРОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ МАГНИЯ

Дарюхина В.А. (ИТМО), Гудзеров Л.И. (ИТМО), Сафронова Т.М. (ИТМО)

Научные руководители: к.х.н., доцент Масалович М.С. (ИТМО), к.х.н., доцент Уласевич С.А. (ИТМО)

e-mail: v.daryukhina05@mail.ru

Материалы на основе магния вызывают большой интерес исследователей благодаря сочетанию биосовместимости и высокой удельной прочности [1]. Вместе с тем их использование в медицинских и инженерных приложениях осложняется быстрым разрушением в агрессивных средах. Одним из подходов к повышению устойчивости магния является модификация поверхности биополимерными покрытиями, которые замедляют развитие коррозии и при этом, сохраняют совместимость материала с живыми тканями. В представленной работе изучено действие покрытия из полигидроксиалканоеата (ПГА) [2] на коррозионное поведение магния. Для анализа использовались электрохимические методы, включая регистрацию потенциодинамических поляризационных кривых и проведение импедансной спектроскопии [3].

Ключевые слова: магний, коррозия, полигидроксиалканоеат, ультразвуковая обработка, поляризационные кривые, импедансная спектроскопия, биополимерные покрытия.

Магний и его сплавы рассматриваются как перспективные материалы благодаря низкой плотности, высокой удельной прочности и биосовместимости, что делает их актуальными для использования в транспортной отрасли и биомедицине. Главным ограничением остаётся низкая коррозионная стойкость, особенно в хлоридсодержащих средах, которая приводит к ускоренной деградации и ограничивает срок службы изделий. В случае медицинских имплантатов слишком быстрая коррозия приводит к потере механической прочности и неконтролируемому выделению продуктов разложения в организм, что снижает безопасность применения. Для конструкционных материалов коррозия существенно сокращает срок эксплуатации и повышает затраты на техническое обслуживание. В связи с этим разработка методов защиты магния от коррозии остаётся актуальной задачей.

Одним из эффективных решений является использование биополимерных покрытий, которые совмещают барьерные свойства и биосовместимость. Полигидроксиалканоеаты (ПГА) относятся к классу биоразлагаемых полиэфиров, способных образовывать плотные гидрофобные плёнки на поверхности металлов. Их применение позволяет снизить скорость коррозии без ущерба для биосовместимости, что особенно важно для медицинских применений.

Для исследования были подготовлены образцы магния с нанесённым ПГА-покрытием, полимерный материал для которого был предоставлен доктором биологических наук, профессором Шишацкой Е. И. (Сибирский федеральный университет). Нанесение покрытия осуществлялось методом ультразвуковой обработки в растворе хлороформа с концентрацией полимера 10 мг/мл при длительности 5, 10, 15 и 20 минут. После нанесения образцы сушили при комнатной температуре. Контрольные образцы без покрытия исследовались для сопоставления результатов. Электрохимические испытания проводились в 3,5% растворе NaCl с добавлением $MgCl_2$ ($1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л) с использованием трёхэлектродной ячейки (рабочий электрод – исследуемый образец, электрод сравнения – Ag/AgCl, вспомогательный электрод – платиновая проволока). Потенциодинамическая поляризация применялась для определения потенциала коррозии (E_{corr}), коррозионного тока (i_{corr}) и скорости коррозии (CR). Кривые регистрировались при сканировании потенциала в диапазоне от -2,00 В до +0,5 В относительно электрода сравнения со скоростью 1 мВ/с. Электрохимическая импедансная спектроскопия использовалась для оценки коррозионного сопротивления (R_p), спектры снимались в диапазоне частот 10^{-2} – 10^4 Гц при амплитуде переменного сигнала 10 мВ.

Результаты потенциодинамической поляризации (рис. 1) показали, что ультразвуковая обработка без покрытия изменяет скорость коррозии магния: от 2,29 мм/год при 5 мин до 9,24 мм/год при 10 мин, а при 20 мин скорость снижается до 0,87 мм/год. Можно

предположить, что на первоначальном этапе воздействия ультразвуком поверхность зачищается от защитных оксидного и гидроксидного слоев, что ускоряет разрушение магния. А при более длительной обработке до 20 минут формируется более стабильный и плотный слой гидроксида магния, который замедляет коррозию и снижает скорость разрушения.

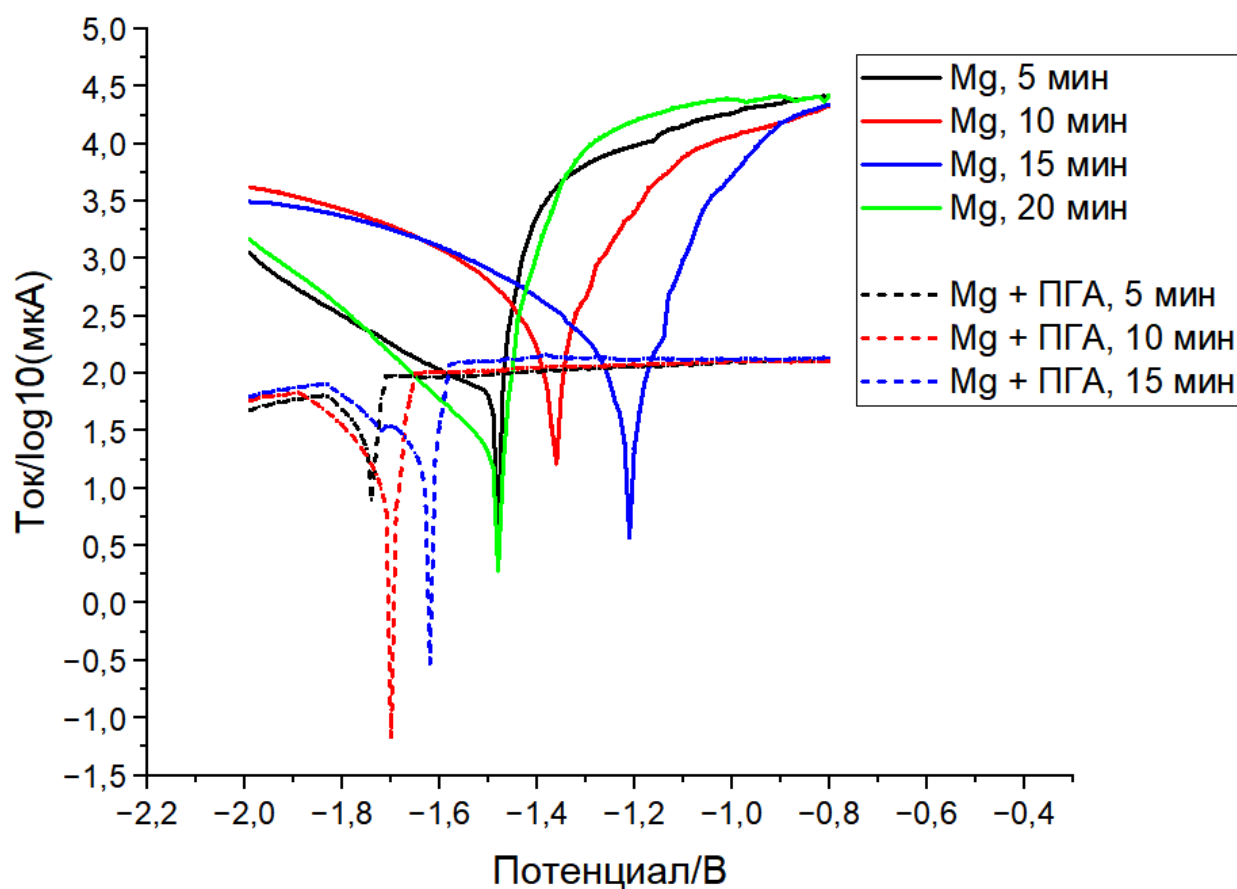


Рис. 1. Потенциодинамические поляризационные кривые образцов магния: без покрытия (5, 10, 15, 20 мин) и с ПГА-покрытием (5, 10, 15 мин) в 3,5% растворе NaCl с добавлением MgCl_2 ($1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Таблица содержит значения E_{corr} , i_{corr} и скорости коррозии CR. Столбцы таблицы разделены на две группы: 1 — без полимера, 2 — с ПГА-покрытием. Данные показывают, что ПГА-покрытие значительно снижает скорость коррозии до 0,36–0,43 мм/год. При обработке образца с покрытием в течение 20 минут измерить потенциодинамическую кривую не удалось: металл был полностью изолирован от коррозионной среды, вероятно, из-за формирования плотного и сплошного слоя полимера на поверхности при длительной ультразвуковой обработке.

Таблица. Значения E_{corr} , i_{corr} , CR

Время, мин	E_{corr} , В		i_{corr} , мкА		CR, мм/год	
	1	2	1	2	1	2
5	-1,49	-1,73	50	24	2,29	1,1
10	-1,38	-1,69	199	8	9,24	0,36
15	-1,19	-1,62	107	9	4,95	0,43
20	-1,48	—	19	—	0,87	—

Импедансная спектроскопия (рис. 2) согласуется с данными поляризационных измерений. Образцы магния с полимером продемонстрировали большее сопротивление переносу заряда по сравнению с чистым магнием, что указывает на формирование эффективного барьерного слоя.

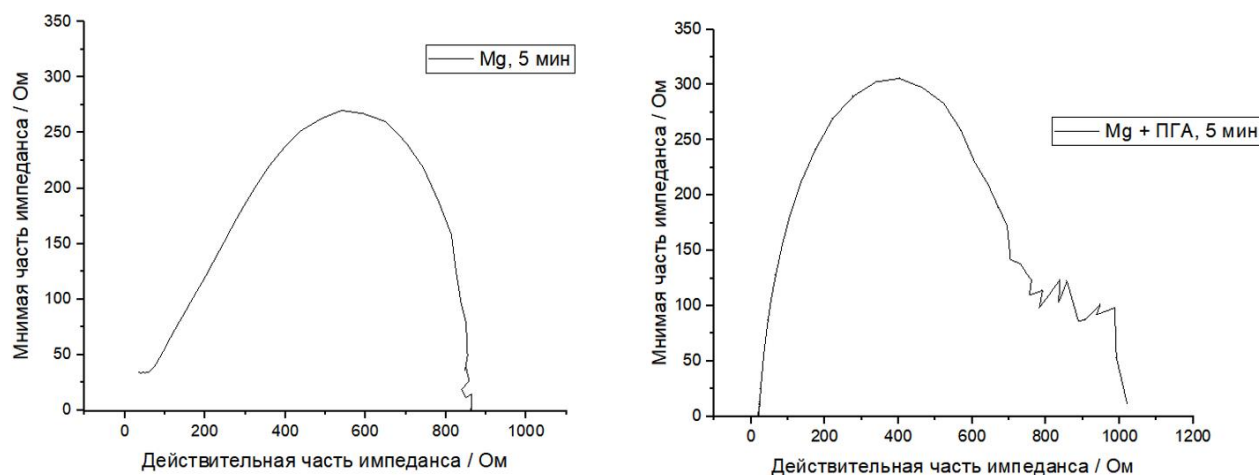


Рис. 2. Годографы импеданса для образцов магния с ПГА-покрытием и без покрытия после 5 минут ультразвуковой обработки в 3,5% растворе NaCl с добавлением MgCl_2 ($1,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Таким образом, применение ПГА в качестве покрытия позволяет значительно повысить коррозионную стойкость магния. Наиболее эффективным оказалось время ультразвукового нанесения до 15 минут, при котором достигается минимальный коррозионный ток и максимальное сопротивление переноса заряда. Совокупность данных потенциодинамической поляризации и спектроскопии импеданса подтвердила формирование плотного барьерного слоя, замедляющего деградацию магния в агрессивных средах. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения ПГА-покрытий для разработки биомедицинских имплантатов и конструкционных материалов транспортной отрасли.

Список использованных источников

1. Tie D. и др. In vivo degradability and biocompatibility of a rheo-formed Mg–Zn–Sr alloy for ureteral implantation // *Journal of Magnesium and Alloys*. 2022. №. 6 (10). Pp. 1631–1639.
2. Ghorabe F.D.E. и др. Topography hierarchy of biocompatible polyhydroxyalkanoate film // *RSC Advances*. 2024. №. 27 (14). Pp. 19603–19611.
3. Ulasevich S.A. и др. Natural Silk Film for Magnesium Protection: Hydrophobic/Hydrophilic Interaction and Self-Healing Effect // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2019. №. 12 (304). P. 1900412.

УДК 543.55

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СЕНСОРА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИГРИСТЫХ ВИН С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Джанаев И.В. (ИТМО), Уаман И. (ИТМО), Масалович М.С. (ИТМО)

e-mail: osya.dzhanaev@bk.ru

В статье представлен электрохимический анализ образцов белого и розового игристого вина методом циклической вольтамперометрии (ЦВА). Результаты подтверждают перспективность использования электрохимического анализа в сочетании с ИИ для экспресс-оценки качества и подлинности игристых вин, а также создания интеллектуальных сенсорных систем в пищевой аналитике.

Ключевые слова: электрохимический анализ, машинное обучение, классификация вин.

Введение

Электрохимический анализ пищевых продуктов, в частности игристого вина, представляет значительный интерес для оценки качества, подлинности и выявления возможных примесей. Среди методов электрохимического анализа широкое применение получила циклическая вольтамперометрия (ЦВА), позволяющая проводить быстрый и чувствительный контроль состава различных жидких сред [1, 2].

В данной работе исследованы образцы белого и розового игристого вина методом ЦВА. Эксперименты выполнялись на потенциостате-гальваностате Р-2хХ8 (SN 17-16-204) с использованием стандартной трёхэлектродной ячейки, включающей:

1. Рабочий электрод – золото.
2. Вспомогательный электрод – золото.
3. Электрод сравнения – хлорсеребряный.

Было проведено по 50 измерений для белого и 50 для розового вина в диапазоне потенциалов от $-2,5$ В до $+0,5$ В. Полученные вольтамперограммы позволили выявить закономерности электрохимического поведения вин, определить характерные анодные и катодные пики и сравнить их интенсивность.

Особое внимание уделялось созданию цифрового «отпечатка» исследуемых напитков на основе экспериментальных данных. Для обработки и интерпретации полученных массивов использовались методы машинного обучения. На основе зарегистрированных вольтамперограмм была сформирована база данных, которая послужила входом для алгоритмов классификации (логистическая регрессия, случайный лес, CatBoost и нейросетевая архитектура 1D CNN).

Сравнительный анализ показал, что использование ИИ обеспечивает высокую точность в задаче различения белого и розового вин. Лучшая производительность достигнута при применении логистической регрессии (точность 90%), при этом модели глубокого обучения (1D CNN) продемонстрировали сопоставимые результаты, что подтверждает перспективность автоматизированного подхода к электрохимическому анализу напитков.

Выводы. В ходе работы выполнено по 50 измерений для белого и розового игристого вина на системе «золото – золото – хлорсеребряный электрод сравнения» в диапазоне потенциалов от $-2,5$ до $+0,5$ В, что позволило получить воспроизводимые вольтамперограммы и сформировать характерные электрохимические профили образцов. На основе полученных данных проведена классификация с применением методов машинного обучения, показавшая высокую эффективность в задаче различения вин по их электрохимическим характеристикам: наибольшая точность достигнута моделью логистической регрессии (90%), при этом нейросетевой подход (1D CNN) также продемонстрировал хорошие результаты. Полученные данные подтверждают возможность создания интеллектуальных сенсорных систем для экспресс-анализа и объективной оценки качества напитков.

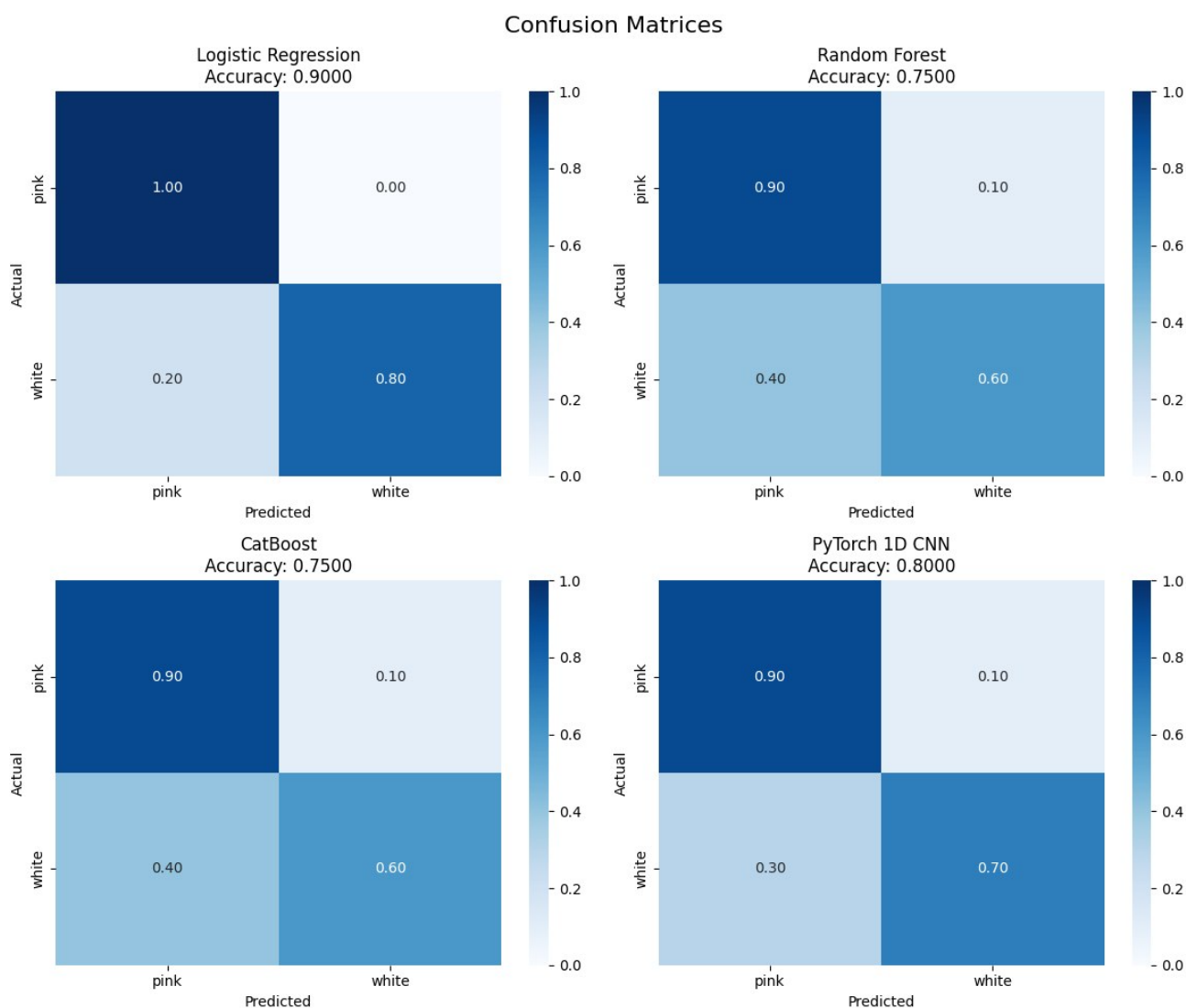


Рисунок. Сравнительный анализ различных моделей для различения белого и розового вин

Список использованных источников

1. Gil-Sanchez L., Soto J., Martinez-Manez R. et. al. A novel humid electronic nose combined with an electric tongue for assessing deterioration of wine // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2011. V. 171. Pp. 152–158. DOI: 10.1016/j.sna.2011.08.006.
2. Ceto X., Gutierrez J.M., Moreno-Baron L. et al. Voltammetric Electronic Tongue in the Analysis of Cava Wines // *Electroanalysis*. 2011. V. 23. Pp. 72–78. DOI: 10.1002/elan.201000439.

УДК 546.05

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Максимов И.А. (студент, ИТМО), **Гончаров В.В.** (аспирант, ИТМО)

Научный руководитель: к.х.н., в.н.с. Уласевич С.А. (ИТМО)

e-mail: ilamaksimov91046@gmail.com, saulasevich@itmo.ru

В работе исследованы функциональные покрытия на основе нанотрубок диоксида титана, полученных методом анодирования, для локальной доставки лекарственных средств. В качестве модельного лекарственного препарата использовался тетрациклин гидрохлорид. Показано, что нанесение полиэлектролитов и использование инфракрасного излучения позволяют контролировать релиз вещества из нанотрубок.

Ключевые слова: *доставка лекарств, функциональные покрытия, нанотрубки диоксида титана, анодирование, тетрациклин гидрохлорид.*

Перед современной медициной стоит проблема роста заболеваемости. Всё больше людей страдает от рака, хронических воспалений и инфекционных болезней, требующих продолжительного и сложного лечения. Это ставит перед исследователями задачу разработки более эффективных и безопасных лекарств и методов их доставки в организм [1]. Традиционные методы, такие как пероральный прием и инъекции, часто не обеспечивают необходимой концентрации препарата в пораженной области, что приводит к снижению эффективности лечения и появлению побочных эффектов [2].

Для устранения этих недостатков необходимо обеспечить локальную доставку лекарства. Она позволяет не затрагивать здоровые ткани, точно воздействуя на очаг поражения, и обеспечивает оптимальную концентрацию часто дорогостоящих препаратов.

Одной из наиболее востребованных областей применения данного подхода в медицине является имплантология [3]. Используется загрузка лекарственных препаратов непосредственно в функциональные покрытия имплантатов. Такие покрытия позволяют осуществлять контролируемую доставку терапевтических агентов непосредственно в зону имплантации [4].

В качестве функциональных покрытий широко распространено применение нанотрубок из диоксида титана TiO_2 . Эта структура представляет значительный интерес в медицине. Нанотрубки TiO_2 обладают большой площадью поверхности по отношению к их объему, механической прочностью и химической стойкостью. Эти качества позволяют использовать их для локальной доставки лекарств, создания антимикробных материалов и субстратов для улучшения прикрепления и пролиферации клеток. Кроме того, их совместимость с биологическими системами и способность улучшать остеоинтеграцию делают их особенно ценными в ортопедии и дентальной имплантологии. Благодаря совокупности указанных свойств, такие покрытия представляют собой перспективное направление для последующих исследований [5, 6].

В данной работе формирование нанотрубок TiO_2 проводилось с помощью анодирования титана. Благодаря низкой стоимости и простоте такой подход в последние десятилетия широко использовался для получения самоорганизующихся массивов нанотрубок [7–9].

Перед началом синтеза титановая пластина (марка ВТ-1-0, толщина 0,4 мм) с площадью поверхности 5 см² была химически отполирована в растворе, содержащем концентрированную HNO_3 и концентрированную HF в объемном соотношении 1:3 для удаления компактного оксидного слоя. Затем пластина была обработана в ультразвуковой ванне «Сапфир 28–35» (Россия) с частотой 35 кГц в смеси ацетона и 95 масс.% этилового спирта, взятых в объемном соотношении 1:1 для обезжиривания и удаления поверхностных загрязнений.

Анодирование проводили в этиленгликолевом электролите, содержащем 0,15 масс.% NH_4F и 2 об.% H_2O . Анодом служила сама титановая пластина, а катодом – платиновый сетчатый электрод в форме цилиндра.

Анодирование проводили в два этапа. На первом этапе изменялось подаваемое напряжение от 0 до 40 В со скоростью поднятия напряжения 0,024 В/с. Напряжение создавалось с помощью источника постоянного тока EA-PSI 9200-04DT (Elektro-Automatik, Германия). На втором этапе происходил процесс окисления поверхности титана при постоянном напряжении 40 В в течение 45 мин.

Дебрис, образующийся в ходе синтеза на поверхности нанотрубок TiO_2 , удалялся с помощью ультразвуковой обработки в 95 масс.% этиловом спирте в течение 30 с. Затем пластина высушивалась на воздухе. Для увеличения адгезии и кристалличности полученного слоя нанотрубок пластина подвергалась термической обработке при температуре 450°C в течение 3 часов на воздухе в муфельной печи LOIP LF2/13-G2 (Россия).

Морфологию полученных нанотрубок TiO_2 определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) FEI Inspect S 50 (Чехия). Для контраста на образцы предварительно напыляли слой золота. Образцы снимали при 20 кВ. Кристаллическую структуру и фазовый состав подготовленных образцов определяли с использованием рентгеновского дифрактометра D2 PHASER (Bruker Corporation, США). Рентгенограммы измеряли в диапазоне 2Θ : 10-70°.

Установлено, что при анодировании титана в течение 45 мин формируется матовое фиолетовое покрытие, которое обладает гидрофильными свойствами. С помощью сканирующего электронного микроскопа видно, что покрытие состоит из упорядоченных нанотрубок (рис. 1).

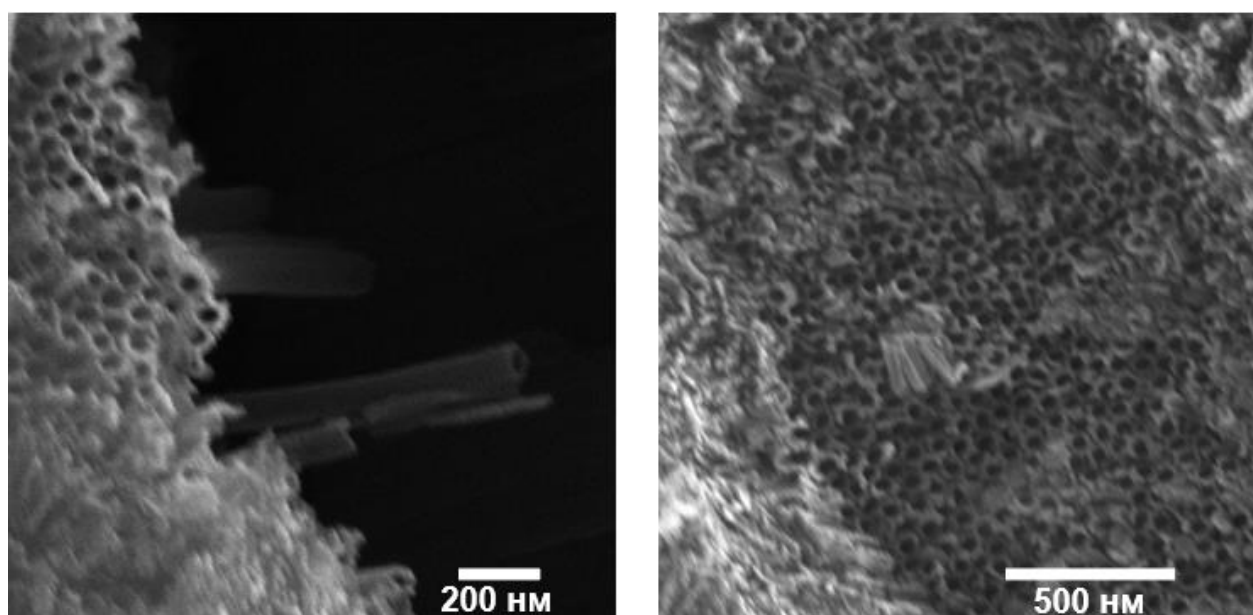


Рис. 1. СЭМ-изображения нанотрубок TiO_2

Средний внешний диаметр нанотрубок составляет приблизительно 40–50 нм, толщина стенок оценивается примерно в 7–8 нм, а длина трубок достигает в среднем от 0,5 до 1,5 мкм.

На дифрактограмме полученного покрытия (рис. 2) видны рефлексы 2Θ при 34,56°, 38,00° и 39,74°, которые соответствуют титану. В то время как пики при 2Θ : 24,87°, 52,56°, 53,58° соответствуют модификации анатаз [10].

В данной работе изучалась эффективность покрытия из нанотрубок TiO_2 в качестве функционального покрытия для контролируемой доставки лекарств. В качестве модельного лекарственного препарата использовался тетрациклин гидрохлорид. Сначала водный раствор гидрохлорида тетрациклина с концентрацией 10 мг/мл наносили на полученные нанотрубки TiO_2 погружным методом. Затем происходила загрузка вещества в течение 24 часов.

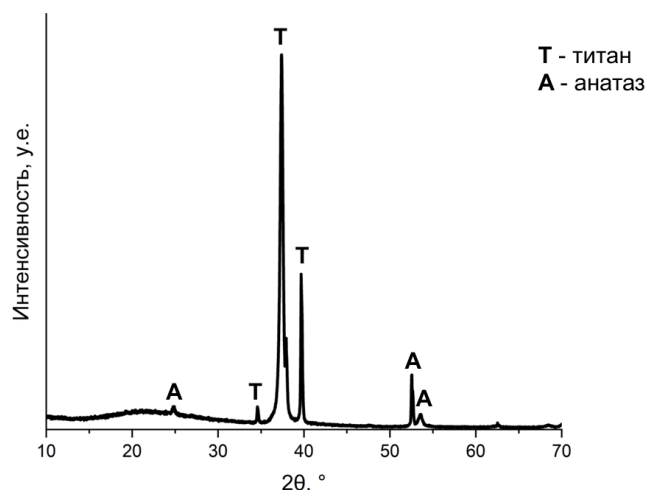


Рис. 2. Рентгенограмма диоксид-титановых нанотрубок, полученных анодированием при 40 В в течение 45 мин в этиленгликоле, содержащем 0,15 масс.% NH_4F и 2 об.% H_2O

Далее происходило высвобождение лекарства в 10 мл физиологического раствора в течение 6 часов. В процессе отбирались пробы, оптическая плотность гидрохлорида тетрациклина в которых определялась с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-1800 (Япония). Спектры снимали в диапазоне 200 до 800 нм. В спектрах поглощения тетрациклина наблюдается несколько характерных пиков с максимумами при 220, 275 и 358 нм (рис. 3). Градуировочный график для установления зависимости концентрации от оптической плотности строили для пика на длине волны 358 нм (рис. 4).

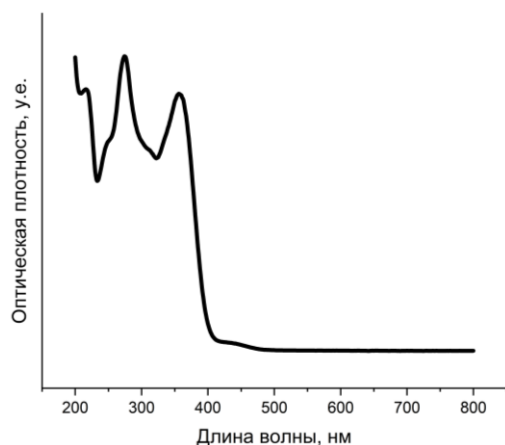


Рис. 3. Спектр оптического поглощения раствора тетрациклина гидрохлорида с концентрацией 10 мг/мл

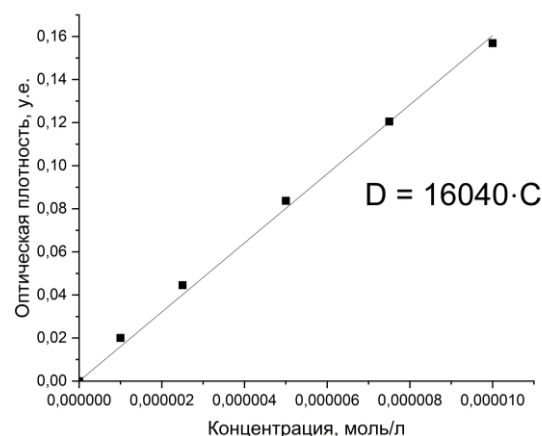


Рис. 4. Градуировочный график для определения концентрации тетрациклина гидрохлорида в водных растворах

Вначале исследовали высвобождение загруженного тетрациклина гидрохлорида из нанотрубок TiO_2 без модификаций и без внешнего воздействия (рис. 5). На графике представлена зависимость значения C/C_0 100% от времени, где C – накопленная выделившаяся концентрация в определенный момент времени, а C_0 – начальная концентрация.

Модификация системы плёнкой полиэлектролитов (ПЭ) с целью замедления высвобождения вещества производилась путем последовательного нанесения слоев погружным методом. Полиэлектролиты наносились в следующем порядке: первый слой – поли(этиленимин гидрохлорид), второй – поли(4-стиролсульфонат натрия), третий – поли(этиленимин гидрохлорид), четвертый – поливинилпирролидон. В качестве внешнего фактора, способного влиять на скорость протекания процесса, использовалось облучение в ближней инфракрасной (ИК) области в течение 1–360 мин с длиной волны 980 нм, создаваемое лампой Beurer IL 21 (Германия).

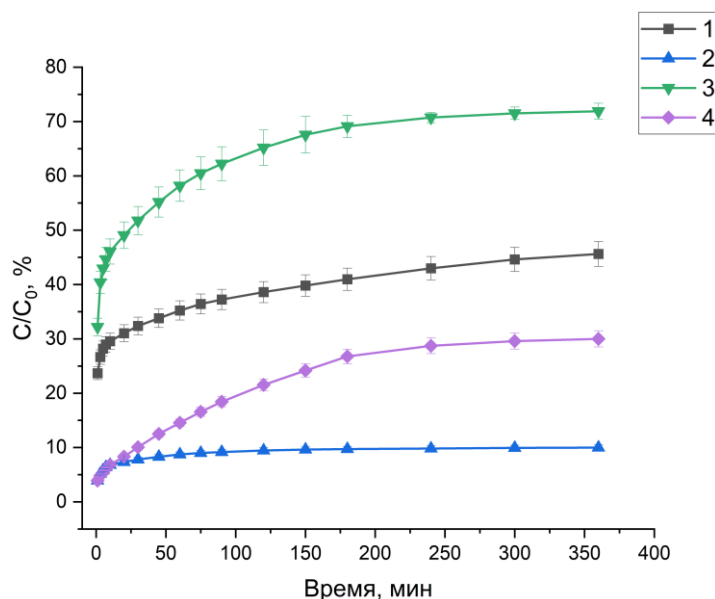


Рис. 5. Кривые высвобождения тетрациклина гидрохлорида из нанотрубок TiO_2 в физиологический раствор в течение 1–360 мин без модификаций (1 кривая); из нанотрубок TiO_2 , покрытых ПЭ (2 кривая); из нанотрубок TiO_2 под действием ИК-излучения (3 кривая); из нанотрубок TiO_2 , покрытых ПЭ, под действием ИК-излучения (4 кривая)

Анализ экспериментальных данных по высвобождению тетрациклина гидрохлорида из нанотрубок TiO_2 в физиологический раствор показал высокую точность и воспроизводимость измерений. На рисунке 5 видно, что высвобождение лекарства замедляется с течением времени.

Нанесение многослойного полиэлектролитного покрытия снизило суммарный выход модельного лекарственного препарата. Воздействие инфракрасного излучения приводило к заметному увеличению доли высвобождаемого вещества благодаря локальному увеличению температуры.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что комбинированное использование нанотрубок TiO_2 , управляемых физическими воздействиями и модифицирования полимерами даёт возможность эффективно регулировать высвобождение терапевтических агентов. Это открывает перспективы создания имплантатов и систем управляемой локальной доставки лекарств с пролонгированным и контролируемым релизом.

Список использованных источников

1. Siegel R.L. et al. Colorectal cancer statistics, 2023 // *CA Cancer J Clin.* Wiley, 2023. Vol. 73. №. 3. Pp. 233–254.
2. El-Tanani M. et al. Revolutionizing Drug Delivery: The Impact of Advanced Materials Science and Technology on Precision Medicine // *Pharmaceutics.* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2025. Vol. 17. №. 3. DOI: 10.3390/pharmaceutics17030375.
3. Porter J.R., Ruckh T.T., Popat K.C. Bone tissue engineering: A review in bone biomimetics and drug delivery strategies // *Biotechnol Prog.* 2009. Vol. 25. №. 6. Pp. 1539–1560.
4. Karade V.C. et al. APTES monolayer coverage on self-assembled magnetic nanospheres for controlled release of anticancer drug Nintedanib // *Sci Rep. Nature Research.* 2021. Vol. 11. №. 1. DOI: 10.1038/s41598-021-84770-0.
5. Tao B. et al. Regulation of TiO_2 nanotubes on titanium implants to orchestrate osteo/angio-genesis and osteo-immunomodulation for boosted osseointegration // *Mater Des.* Elsevier Ltd. 2023. Vol. 233. DOI: 10.1016/j.matdes.2023.112268.
6. Nair M., Elizabeth E. Applications of titania nanotubes in bone biology // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology.* American Scientific Publishers, 2015. Vol. 15. №. 2. Pp. 939–955.
7. Lee W. The anodization of aluminum for nanotechnology applications // *JOM.* 2010. Vol. 62. №. 6. Pp. 57–63.
8. Macák J.M., Tsuchiya H., Schmuki P. High-aspect-ratio TiO_2 nanotubes by anodization of titanium // *Angewandte Chemie - International Edition.* 2005. Vol. 44. №. 14. Pp. 2100–2102.
9. Fialho L. et al. Development of stacked porous tantalum oxide layers by anodization // *Appl Surf Sci.* Elsevier B.V., 2020. Vol. 511. DOI:10.1016/j.apsusc.2020.145542.
10. Li W. et al. Generation of oxygen vacancies in visible light activated one-dimensional iodine TiO_2 photocatalysts // *RSC Adv.* Royal Society of Chemistry. 2014. Vol. 4. №. 70. Pp. 36959–36966.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЗАДАЧАХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА И УРБАНИСТИКИ

УДК 71.01

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 1-ГО ПОЯСА АГЛОМЕРАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Цветкова А.С. (магистрант, ИТМО)

Научный руководитель: преподаватель, мл.н.с. Воронин Д.В. (ИТМО)

e-mail: egorovanuts999@gmail.com

Статья посвящена разработке метода пространственного развития городов-спутников первого пояса Санкт-Петербургской агломерации с целью их трансформации в самодостаточные центры. Агломерация, являясь второй по величине в России, сохраняет моноцентрическую структуру, что приводит к перегрузке ядра и формированию пригородных «спальных районов». В работе предложен комплексный метод оценки самодостаточности территорий на основе пяти ключевых параметров: функциональное зонирование, пространственное расположение, высотность застройки, численность населения и потребности жителей. Метод позволяет выявлять точки роста и формировать стратегии устойчивого развития, направленные на создание локальных экономических, социальных и рекреационных центров. Подход интегрирует цифровые инструменты, такие как ГИС-анализ и ИИ-платформы. Результаты исследования дают основу для разработки долгосрочной агломерационной политики, обеспечивающей сбалансированное развитие и повышение качества жизни на всей территории.

Ключевые слова: Санкт-Петербургская агломерация, города-спутники, ядро, пространственное развитие, децентрализация, устойчивое развитие, инфраструктура.

Роль крупных городов и агломераций продолжает расти, однако вопросы их структуры и управления остаются недостаточно урегулированными. Санкт-Петербургская агломерация – вторая по значимости в России, которая включает 63 городских и свыше 680 сельских населённых пунктов. Несмотря на масштаб, она сохраняет ярко выраженную моноцентрическую структуру с доминирующим ядром, Санкт-Петербургом. Это порождает дисбалансы: перегрузка центра, рост пригородов без соответствующего развития инфраструктуры и усиление маятниковой миграции [1].

Целью исследования является разработка метода, позволяющего трансформировать города-спутники в самодостаточные центры, способные функционировать независимо от ядра. Новизна работы заключается в создании комплексного подхода к децентрализации, ориентированного не на анализ проблем, а на формирование практической стратегии развития.

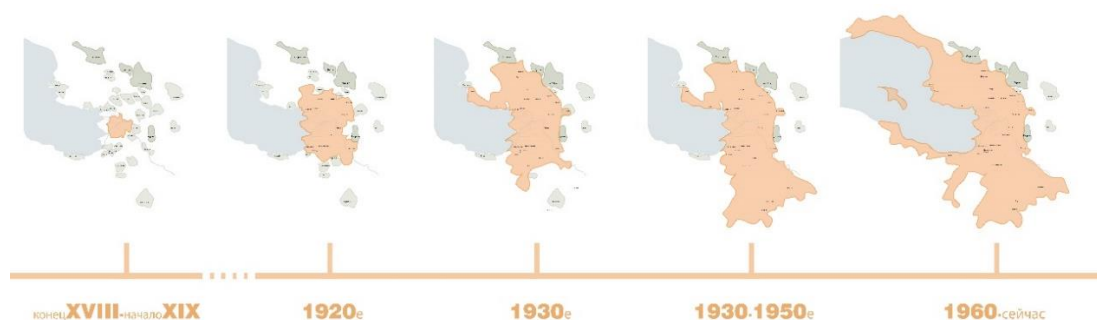


Рис. 1. История развития Санкт-Петербурга

До основания Санкт-Петербурга на этой территории существовала сельская система расселения. Петр I интегрировал её в новую агломерацию, а впоследствии город сформировался за счёт присоединения окрестных поселений. В XX веке к нему были

включены Колпино, Петергоф, Павловск, Пушкин, Ломоносов и другие территории (рис. 1). В 1991 году Ленинград был переименован, а в 1993-м получил статус города федерального значения. Последнее расширение произошло в 2011 году.

Сегодня ключевая задача – развитие приграничных городов-спутников (Сертолово, Бугры, Мурино, Всеволожск, Кудрово) как самодостаточных центров. Это требует решений в пяти сферах:

- расселение;
- транспорт и инженерные сети;
- экономический аспект;
- пространственное развитие;
- социальная инфраструктура.

Санкт-Петербург продолжает расти, и пригороды стремятся стать частью ядра. Однако устойчивое развитие агломерации возможно только при повышении автономности спутников и качества жизни в них.

В качестве международных примеров рассмотрены Шанхай и Токио (рис. 2). Шанхай, столкнувшись с хаотичной застройкой и транспортными проблемами, в 2001 году запустил план полицентричного развития: к 2020 году было создано 9 крупных и 25 малых городов-спутников, а также 4 компактных «мини-города» у центра. Их особенности – пониженная плотность, разнообразие архитектуры, ориентация на транспортные коридоры и чередование жилых и зелёных зон [2].

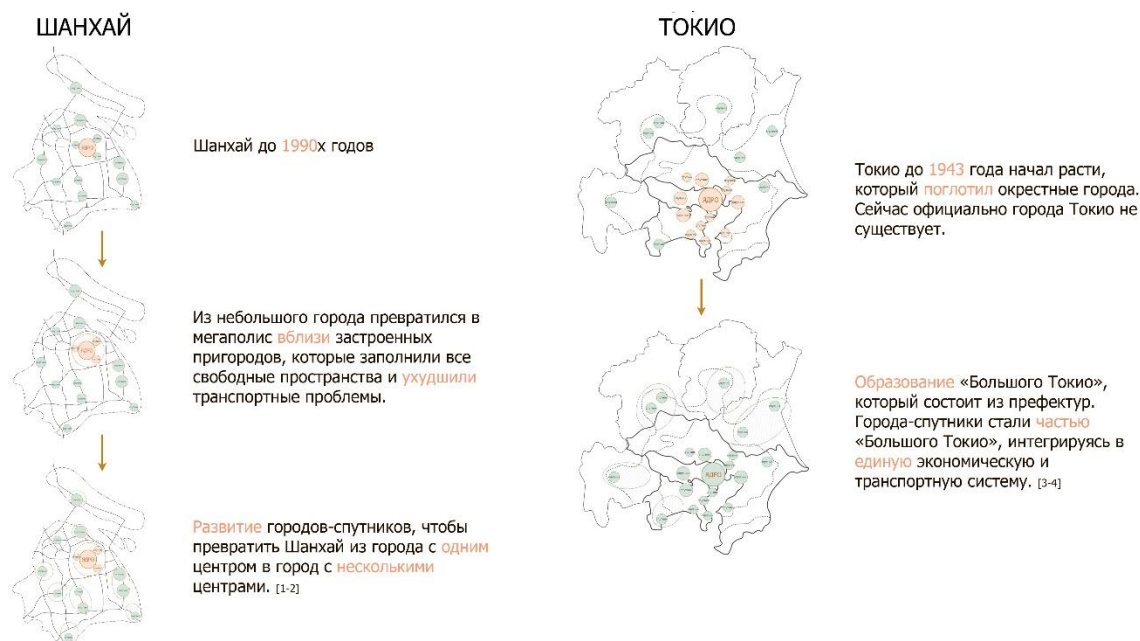


Рис. 2. Схема развития Шанхая и Токио

Токио, утративший статус отдельного города ещё в 1943 году, превратился в ядро гигантской агломерации – «Большого Токио» (38 млн жителей). Несмотря на сокращение населения с 2015 года, он остаётся главным экономическим центром Японии, концентрируя 80% экономического продукта на небольшой территории [3].

Оба примера показывают: без чётких правовых границ агломерации сложно управлять их ростом. Поэтому стратегическое решение – развитие городов-спутников как самостоятельных центров, способных снять нагрузку с ядра и обеспечить сбалансированное развитие всей системы.

Для разработки стратегического плана агломерации, для начала был предложен метод оценки городов-спутников. Метод позволяет оценить самодостаточность данных территорий через пять ключевых параметров: функциональное зонирование, пространственное расположение, высотность застройки, численность населения, потребности жителей.

Интегральная оценка выявляет точки роста для трансформации спальных районов в самостоятельные центры. При низком показателе необходимо скорректировать исходные данные и повторить оценку заново (рис. 3).

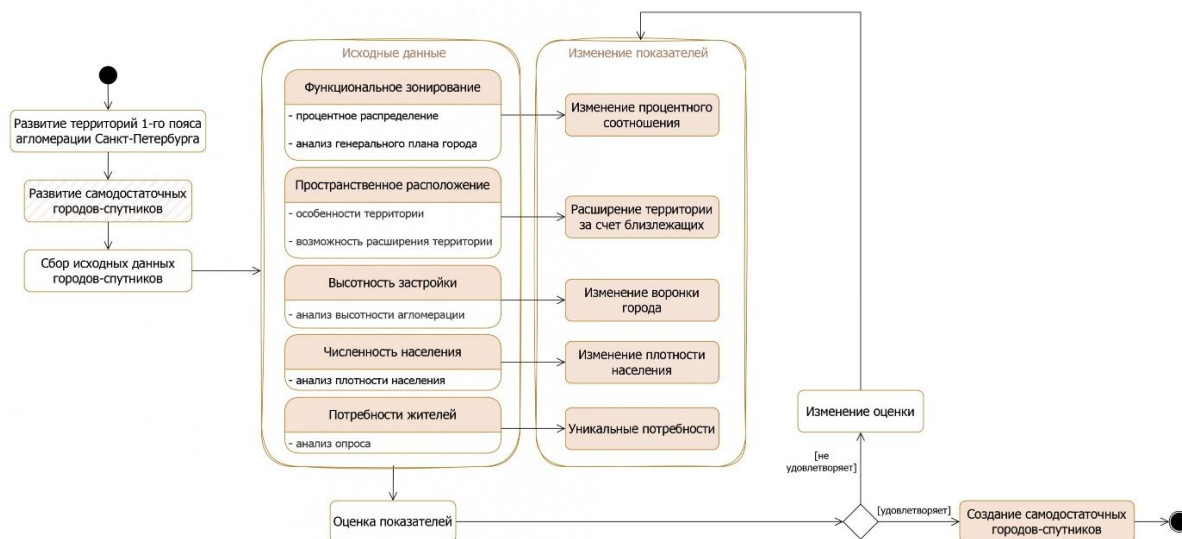


Рис. 3. Алгоритм

Применение метода были взяты на примере городов 1-го пояса агломерации Санкт-Петербурга. Первый из аспектов для оценки – это функциональное зонирование. Данные о нормированных значениях взяты из книги «Градостроительное проектирование: Методологические нормы и инструменты» [4]. Оранжевым цветом показаны нормированные показатели для города федерального значения. Также были определены значения для городов Мурино и Кудрово (рис. 4). Значения были получены из ПЗЗ и ГП и проанализированы с помощью сегментационных нейросетей, таких как U-Net, которая применяется для семантической сегментации изображений. Это позволяет определить зонирование через QGIS (в векторном формате).

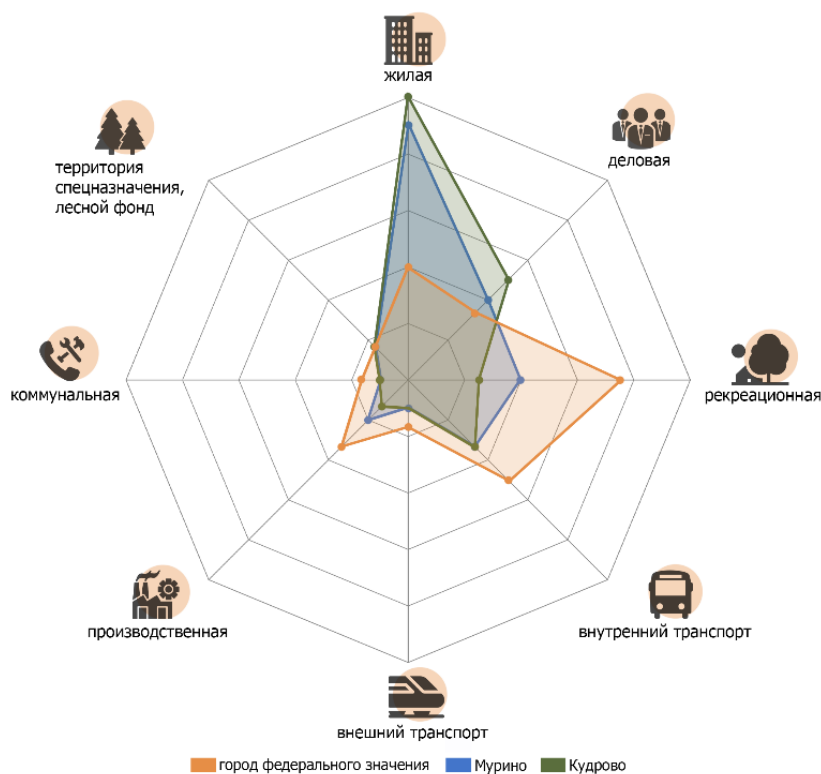


Рис. 4. Функциональная структура

Второй аспект – пространственное расположение. Здесь важно учитывать расстояние до центра ядра, местоположение города-спутника и потенциал территории. В частности, возможность расширения за счёт близлежащих зон для балансировки функций и создания собственного центра без сноса существующей застройки. Оценка расположения проводится на основе анализа изохрон в QGIS. Учёт дорожной сети и барьеров позволил определить не линейное расстояние, а реальное время перемещения между спутниками и центром агломерации.

Высотность застройки формирует городской силуэт и зависит от исторического контекста и градостроительных норм. В Санкт-Петербурге этажность снижается от окраин к центру (5–9 этажей в историческом центре). Исторический центр в основном до девяти этажей, а периферия поднимается до 27, что сильно отличается от исторического облика города. При этом города растут вверх и стремятся увеличиться ещё больше (рис. 5).

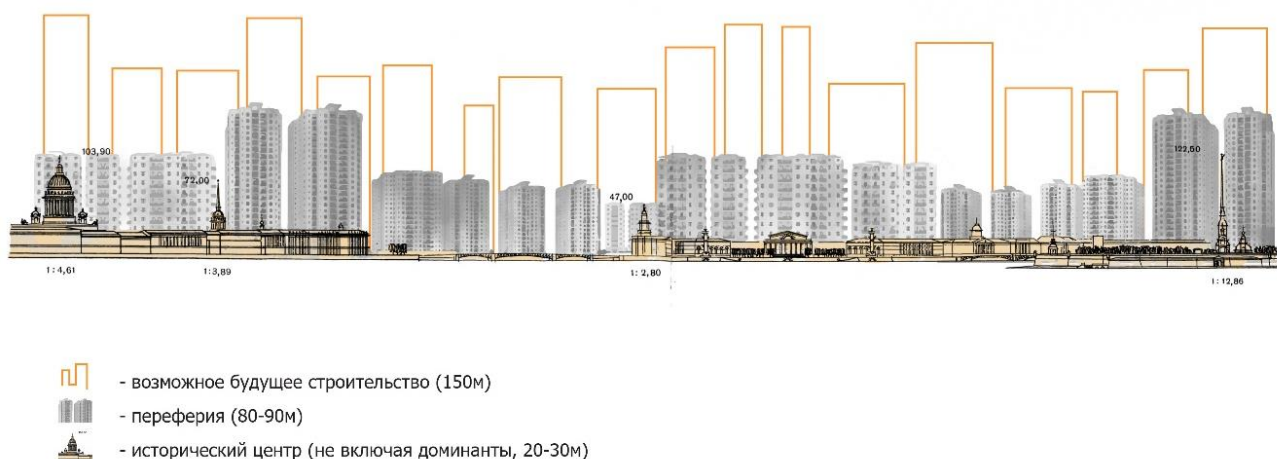


Рис. 5. Высотность Санкт-Петербургской агломерации

Опрос прошли 188 жителей Мурино и Кудрово и показал следующее: 75% выбрали районы из-за доступных цен и близости к Петербургу (рис. 6). Но есть острые проблемы:

- 67% страдают от пробок из-за транспортной доступности;
- 63% ежедневно ездят в город на работу или учебу;
- не хватает зелени, школ, детсадов и поликлиник.

Жители ценят современность районов, но рейтинг комфорта – всего 3,77/5. Ключевой запрос: транспорт, озеленение и социальная инфраструктура требуют срочных решений!

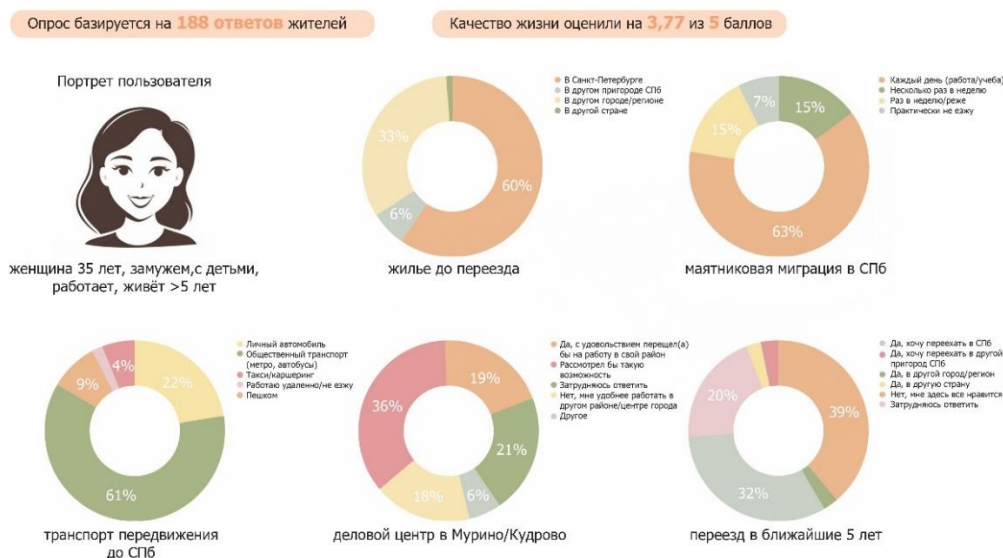


Рис. 6. Опрос Мурино и Кудрово

После сбора всех исходных данных каждому параметру присваивается балл (рис. 7). Для оценки пространственного расположения, высотности застройки и численности населения использовались стандарты проектирования «Градостроительство» и «Комплексное развитие». Каждому параметру также присваивается весовой коэффициент: от функционального зонирования до высотности застройки. Далее балл каждого параметра умножается на его вес, и полученные значения суммируются. В результате формируется итоговая оценка самодостаточности города-спутника: от высокой (сбалансированное развитие и потенциал автономии) до критической (требуются изменения в исходных данных).



Рис. 7. Метод оценки

Данный метод был применён к городу Кудрово (рис. 8). Оценка показала низкую самодостаточность: дисбаланс в функциональном зонировании, отсутствие градиента высотности к центру и выраженная маятниковая миграция в Санкт-Петербург. При этом выявлен потенциал: сильное отклонение в сторону жилья (50% вместо нормативных 20%) может быть скорректировано за счёт расширения в сторону Заневского городского поселения. Это позволит сбалансировать функции и сформировать собственный центр с заданной высотностью.

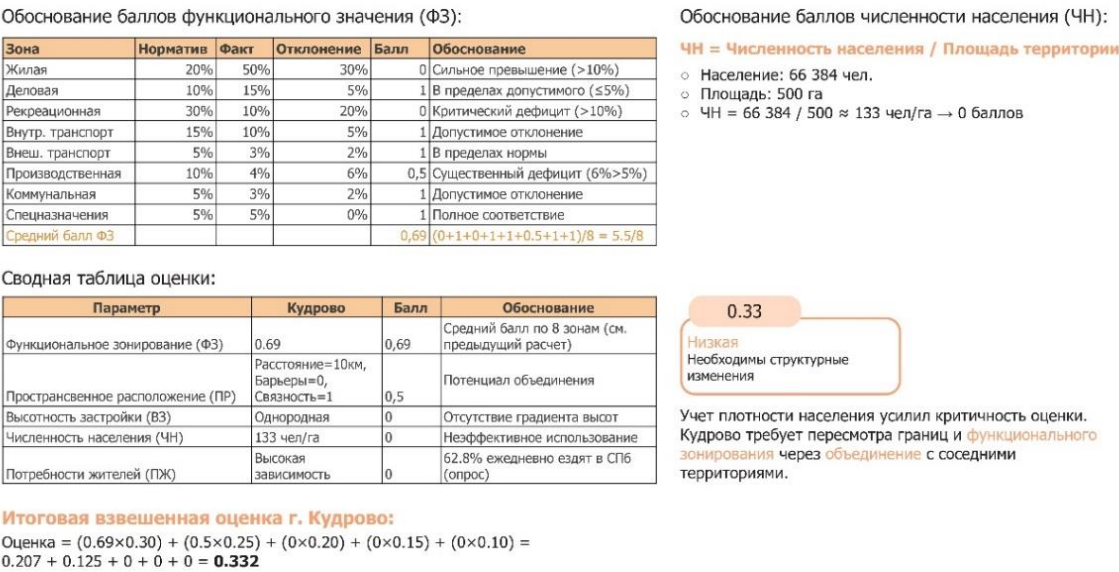


Рис. 8. Метод оценки на примере г. Кудрово

Подводя итоги, был разработан метод оценки развития городов-спутников, составлен алгоритм шагов и продемонстрировано его применение на примере г. Кудрово. В дальнейшем метод будет использован для анализа других городов первого пояса, а также дополнен рассмотрением таких факторов, как локальная экономика и механизмы управления. Это позволит сформировать стратегию сбалансированного развития всей агломерации.

В исследовании ключевую роль сыграли цифровые инструменты. Для анализа пространственного расположения использовались изохроны в QGIS. Они показывают не линейное расстояние, а реальное время в пути с учётом дорог и барьеров. Это позволило выявить, что Мурино и Кудрово уже фактически объединяются с ядром, формируя единый кластер.

Вместе ИИ и ГИС дают мощную основу для принятия решений. Вместо субъективных оценок – объективные данные. Это особенно важно для городов-спутников, которым необходимо развивать собственную экономику и инфраструктуру, а не становиться «спальными районами» Санкт-Петербурга.

Список использованных источников

1. Усанов Б.П. Пространственное развитие, структурное построение и особенности Санкт-Петербургской агломерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/3DVTJU> (дата обращения: 09.09.2024).
2. Шанхай, Китайская Народная Республика: агломерация XXI века. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/8_68037_shanhay-kitayskaya-narodnaya-respublika-aglomeratsiya-hhI-veka.html (дата обращения: 10.12.2024).
3. Тихоцкая И.С. Глобальный город Токио: страноведческий анализ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnyy-gorod-tokio-stranovedcheskiy-analiz/viewer> (дата обращения: 15.12.2024).
4. Митягин С.Д. Градостроительное проектирование: Методологические основы и инструменты / С.Д. Митягин. – Текст: непосредственный. 2023. 100 с.

УДК 004.031.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПОЛНЕННОСТИ МУСОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

Кутковой В.С. (магистрант, ЮФУ)

Научный руководитель: к.т.н. Шкурко А.Н. (ЮФУ)

e-mail: kutkovo@sfedu.ru

В данной статье рассматриваются методы математической статистики и машинного обучения, которые можно применить для прогнозирования наполненности мусорных контейнеров. Выявлены факторы влияющие на скорость накопления отходов. Проанализированы такие методы, как: множественная регрессия, одномерные сверточные нейронные сети и градиентный бустинг. В работе проведён их обзор и краткое описание.

Ключевые слова: временные ряды, математическая статистика, машинное обучение, математическая статистика, IoT, интеллектуальная информационная система (ИИС).

Одной из актуальных проблем современных мегаполисов, а также средних и малых городов, является своевременный вывоз твёрдых коммунальных отходов (ТКО). Существующие системы работают по фиксированному графику и не учитывают фактическое наполнение контейнеров. В результате контейнеры часто переполняются задолго до планового вывоза, что приводит к скапливанию мусора рядом с баками, появлению неприятного запаха, антисанитарии, что приводит к многочисленным жалобам жителей. В других случаях контейнеры могут быть полупустыми, а техника всё равно приезжает для их опустошения, что ведёт к неэффективному использованию транспорта и топлива. Такой подход ориентируется на средние показатели, игнорируя сезонные колебания и особенности конкретных районов, что делает систему затратной и неудобной как для операторов, так и для населения. Эффективным решением могла бы стать система умного мониторинга, где датчики заполненности контейнеров и динамические маршруты позволяют вывозить мусор именно тогда, когда это необходимо, оптимизируя ресурсы и повышая качество обслуживания.

Для решения этой проблемы был разработан прототип системы сбора данных с площадок для вывоза отходов [1]. Основным компонентом системы являются датчики, представленные на рисунке 1. Они устанавливаются внутри контейнера и измеряют уровень наполненности бака, благодаря ультразвуковому излучению.



Рис. 1. Датчик наполненности мусорного контейнера

После этого данные отправляются на сервер, где записываются в базу данных. Информационная система обрабатывает результаты и отображает их на мониторе диспетчера,

а также позволяет построить оптимальный маршрут для вывоза ТКО и контролирует выполнение поставленной задачи. На рисунке 2 представлена структурная схема работы всей системы.

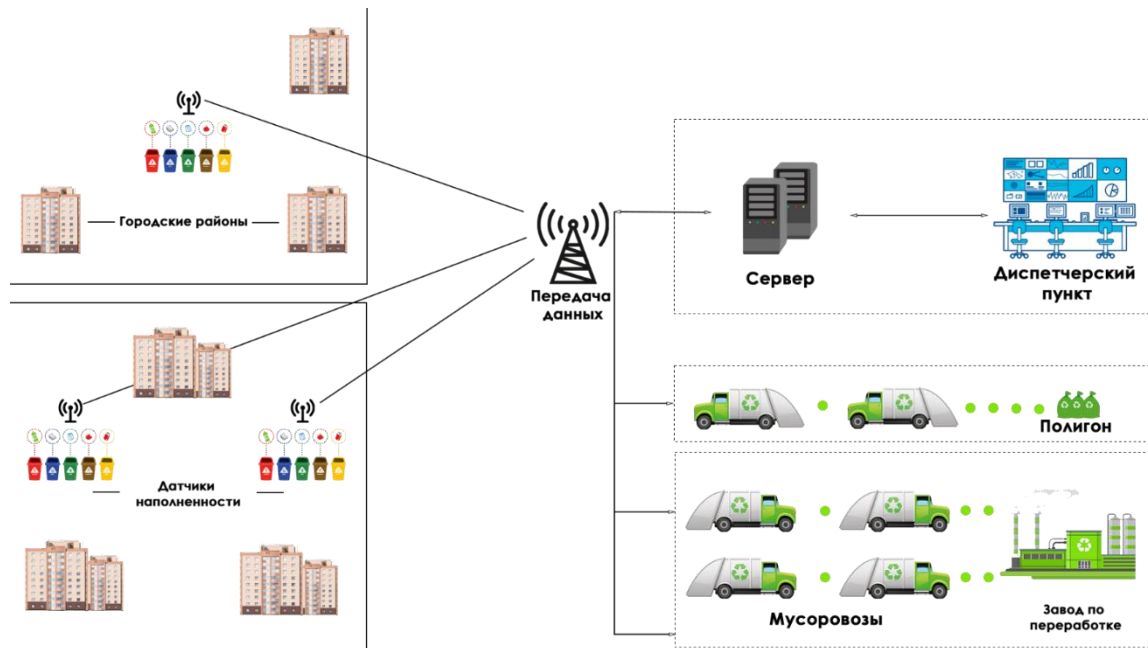


Рис. 2. Структурная схема работы системы

Однако при таком подходе необходимо не только осуществлять мониторинг уровня наполненности контейнеров в реальном времени, но и прогнозировать эти значения.

Внедрение такой системы позволит динамически включать контейнеры в маршруты до их переполнения и исключать из расписания баки, у которых скорость наполнения снизилась. Такой подход позволит заранее определять какие контейнеры вскоре потребуют опустошения и спланировать маршрут вывоза более рационально. Мусоровозы будут приезжать в районы, где их вмешательство необходимо в данный момент.

Постановка задачи

Необходимо разработать модель прогнозирования уровня заполненности мусорных контейнеров для оптимизации системы вывоза отходов. Основная цель — предсказывать степень заполнения каждого контейнера в конкретный момент времени для построения более эффективных маршрутов транспортных средств.

Решение этой задачи основывается на анализе временных рядов. Временные ряды — последовательность числовых значений, измеренных через равные промежутки времени [2], математическое представление представлено по формуле ниже.

$$y_1, y_2, \dots, y_n \quad (1)$$

где y_n — элемент временного ряда.

Для каждого контейнера формируется ряд, отражающий динамику его заполнения. На основе этих данных модель обучается прогнозировать уровень заполненности в будущем.

Также необходимо учитывать различные факторы, влияющие на скорость накопления отходов, среди которых можно выделить:

- количество дней, прошедших с предыдущего вывоза мусора;
- количество людей, проживающих в районе;
- количество контейнеров;
- день недели;
- погодные и сезонные условия.

В качестве выходных данных модель должна выдавать прогноз заполненности каждого контейнера на заданный момент времени, что позволит предсказать достижение критического объема и оптимизировать график его обслуживания.

Под прогнозированием временных рядов подразумевается определение будущих значений на основе прошлых и текущих данных, т.е. нахождении функции F в формуле ниже.

$$y_{n+d} = F(y_1, y_2, \dots, y_n, d), \quad (2)$$

где $d \in \{1, 2, \dots, D\}$ – отсрочка прогноза, D – горизонт прогнозирования.

Временной ряд состоит из нескольких компонентов:

- тренд;
- сезонность;
- цикл;
- случайные колебания.

Тренд отражает долгосрочную тенденцию изменения уровня заполненности, например рост населения района. Сезонность показывает регулярные колебания, связанные с определёнными днями недели или праздниками, когда объём отходов увеличивается. Цикл отражает более длительные, нерегулярные изменения. Остаточные случайные колебания связаны с непредсказуемыми событиями, такими как внезапные мероприятия или погодные аномалии.

Существуют разнообразные методы для решения задачи прогнозирования временных рядов. Их можно разделить на статистические методы и методы машинного обучения. Для анализа были выбраны три различных метода: множественная регрессия, одномерной сверточной нейронной сети, градиентный бустинг.

Множественная регрессия

Множественная регрессия — статистический метод, который используется для оценки зависимости одной переменной (зависимой) от нескольких других (независимых) [3]. В отличие от линейной регрессии, данный метод позволяет учитывать влияние множества факторов. Под зависимой переменной понимается то значение, которое мы хотим предсказать, а независимые переменные — это факторы, с помощью которых делается это предсказание. Общий вид метода представлен ниже.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \varepsilon, \quad (3)$$

где Y – зависимая переменная, X_i – независимые переменные, b_0 – свободный член, b_i – коэффициент регрессии, ε – ошибка.

В нашей задаче зависимой переменной будет являться процент наполненности контейнера. В качестве независимых переменных или факторов используем:

- X_1 — количество дней, прошедших с предыдущего вывоза мусора;
- X_2 — количество людей, проживающих в районе;
- X_3 — количество контейнеров;
- X_4 — день недели;
- X_5 — погодные и сезонные условия.

На основе собранных данных строится математическая модель, которая количественно описывает зависимость между всеми факторами и степенью заполненности. Каждый коэффициент регрессии b_i показывает, насколько изменится процент наполненности контейнера при изменении соответствующего фактора на единицу измерения при условии, что все остальные факторы остаются неизменными. После построения модели проверяется ее статистическая значимость и точность прогнозирования с помощью таких показателей как:

- коэффициент детерминации R^2 — показывает, какая доля изменчивости заполненности объясняется выбранными факторами;
- p -значения — оценивают значимость каждого коэффициента;
- F -критерий — оценивает общую значимость модели.

К недостаткам метода можно отнести сложности с интерпретацией при большом числе факторов, чувствительность к выбросам, мультиколлинеарность, линейность зависимости.

Одномерная свёрточная нейронная сеть

Одномерная свёрточная нейронная сеть (1D CNN) — тип нейросети, предназначенный для обработки последовательных данных, таких как временные ряды, аудиосигналы или показатели сенсоров [4]. Основная цель 1D CNN — выявлять локальные закономерности в последовательности, которые могут повторяться в разных участках данных. В задаче анализа наполненности мусорных контейнеров данные могут наблюдаться повторяющиеся паттерны. Примером может быть быстрый рост заполненности утром или в выходные дни, уменьшение после очистки контейнера.

Архитектура обычно состоит из последовательности слоев, сгруппированных в блоки. Первый слой — входной, принимает последовательность данных с датчиков наполненности. Далее следуют свёрточные слои, которые с помощью фильтров выявляют локальные закономерности. Pooling слой уменьшает размерность данных и оставляет только наиболее значимые признаки, тем самым снижая чувствительность к шуму. После этого полносвязные слои объединяют признаки, извлечённые свёрточными слоями, для прогнозирования будущих значений уровня заполненности.

Рассмотрим пример, в систему поступают данные с датчиков наполненности каждые 15 минут и последние 8 измерений будут иметь следующий вид: [30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%]. CNN фильтр длиной 3 находит быстрый рост заполненности. Выходной слой прогнозирует, что через 30 минут контейнер будет заполнен на 75%.

К недостаткам нейронной сети можно отнести ограниченную способность к учёту долгосрочных зависимостей, необходимость большого объёма данных для обучения, модель обучается на окнах фиксированной длины.

Градиентный бустинг

Градиентный бустинг — это метод машинного обучения, который используется для задач регрессии и классификации, его суть заключается в последовательном построении моделей, обычно деревьев решений, каждая из которых исправляет ошибки предыдущих [5]. В отличие от простого бэггинга, где модели обучаются независимо и результаты усредняются, градиентный бустинг строит модели последовательно, и каждая новая модель минимизирует функцию потерь по направлению отрицательного градиента ошибки, то есть фокусируется на тех объектах, где предыдущие модели ошиблись сильнее всего.

Идея метода заключается в том, чтобы сложную функцию представить как комбинацию множества простых моделей. Каждая такая модель добавляет небольшой вклад, постепенно повышая точность предсказаний. Ключевую роль играют параметры, такие как глубина деревьев, количество моделей и скорость обучения, определяющая, насколько сильно каждое новое дерево корректирует итоговую функцию. Градиентный бустинг хорошо проявляет себя на структурированных данных, особенно когда важны взаимосвязи между признаками. Однако метод чувствителен к переобучению, поэтому требует внимательной настройки гиперпараметров. На его основе созданы популярные библиотеки вроде XGBoost, LightGBM и CatBoost, оптимизированные для высокой скорости и работы с большими объемами информации.

Заключение

В данной статье были рассмотрены методы, которые можно применить для задачи прогнозирования наполненности мусорных контейнеров. Были проанализированы как классические статистические методы, такие как множественная регрессия, так и современные методы машинного обучения: одномерные свёрточные нейронные сети и градиентный бустинг.

Множественная регрессия позволит оценить влияние отдельных переменных, например, прямую зависимость между числом жителей района и скоростью накопления мусора, однако она плохо справляется с взаимодействием таких факторов, как сезонность и день недели. Использование одномерных свёрточных нейронных сетей позволит выявить локальные закономерности, повторяющиеся недельные циклы или краткосрочные погодные колебания.

Однако ограниченное окно свертки приводит к тому, что сеть хуже будет улавливать долгосрочные зависимости. Например, она может не учесть, что редкий вывоз мусора при высокой численности населения и недостаточном количестве контейнеров приводит к ускоренному заполнению, если их влияние проявляется накопительно на протяжении длительного времени.

Градиентный бустинг, способен учитывать такие нелинейные взаимодействия между всеми признаками: связь между числом жителей и количеством контейнеров, влияние погодных условий в разные сезоны, а также цикличность, связанную с днями недели. Этот метод хорошо подойдет для решения поставленной задачи, поскольку способен работать с разнородными данными, устойчив к шуму и обеспечивает хорошую точность при ограниченных вычислительных ресурсах.

Прогнозирование уровня наполненности повысит эффективность работы коммунальных служб. Интеграция моделей в информационные платформы позволит перейти от фиксированных маршрутов вывоза к адаптивной системе, что повысит качество обслуживания и снизит эксплуатационные расходы.

Список использованных источников

1. Кутковой В.С. Разработка программно-аппаратного комплекса для мониторинга наполнения мусорных контейнеров / В. С. Кутковой ; Южный федеральный университет (ЮФУ). – Таганрог: б.и., 2024. 164 с.
2. Алексеева В.А. Анализ временных рядов: учебное пособие / В. А. Алексеева. – Ульяновск: УлГТУ.2020. 147 с.
3. Касьянов В.А. Эконометрика: учебное пособие / В. А. Касьянов. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ. 2008. 200 с.
4. Гафаров Ф.М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. 121 с.
5. Кирюшин Ю.Н., Михеев М.Ю. Построение деревьев решений при помощи градиентного бустинга // Современные информационные технологии. 2023. №. 37(37). С. 40–43. EDN BNPODV.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

УДК 631.15

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ

Данилина А.В. (студент, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Научный руководитель: к.э.н., доцент Малыха Е.Ф. (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

e-mail: Alena.danilina71@yandex.ru

Данная работа посвящена проблемам и перспективам развития органического земледелия в России. В работе проведён анализ текущего состояния органического земледелия, а также рассмотрен опыт зарубежных стран. В результате анализа выявляются основные проблемы, возможности и риски развития, исходя из которых выдвигаются предложения для усовершенствования применения органического земледелия в России.

Ключевые слова: *органическое земледелие, сельское хозяйство, биологизация, сертификация, органика.*

С каждым годом проблема экологии становится всё более актуальной как для государства, так и для населения. В целях улучшения экологического следа: снижения негативного воздействия на почву и окружающую среду, - органическое земледелие имеет больше преимуществ перед традиционными методами. Продуктом органического земледелия является чистая, выращенная без использования химических удобрений и пестицидов продукция. В современном мире развита тенденция на экологические продукты, что говорит нам об актуальности темы органического земледелия. Но, к сожалению, в России данное направление сельского хозяйства сталкивается с некоторыми сложностями, которые мы рассмотрим в работе.

В научной работе отражены результаты анализа текущего состояния органического земледелия в России и изучения зарубежного опыта. Сформированы основные проблемы развития, проведён SWOT-анализ данного направления, а также изучены возможности и риски развития органического земледелия в России. В результате проведённой работы представлены предложения для эффективного роста.

Научная новизна работы заключается в сформулированных перспективах и рисках развития, а также в обоснованных предложениях для увеличения эффективности и развития в России. Для того, чтобы исключить возможность совершения ошибок зарубежных стран, в работе исследуется и анализируется опыт иностранных государств. Также новизна заключается в рассмотрении сложности ведения сельского хозяйства по принципу органического земледелия от лица малого и среднего бизнеса в России, что является, по моему мнению, одним из основополагающих факторов развития.

Для полного понимания темы работы необходимо для начала разобраться с основным термином и рассмотреть особенности органического земледелия. Под органическим земледелием понимается система возделывания сельскохозяйственных культур без применения генно-модифицированных организмов, минеральных удобрений, произведенных синтетическим способом, и пестицидов (за исключением некоторых мелиорантов) [1].

Фундаментальной целью органического земледелия является создание устойчивой и саморегулирующейся агроэкосистемы, которая минимизирует негативное воздействие на окружающую среду и обеспечивает получение экологически чистой продукции высокого качества. Это достигается за счет гармоничной интеграции всех компонентов агроценоза, включая почву, растения, животных, насекомых и самого фермера. Принципы органического земледелия подразумевают собой целостный подход к ведению сельского хозяйства, направленный на создание здоровой и продуктивной среды.

В основе органического земледелия лежат пять ключевых принципов: защита окружающей среды, минимальное вмешательство в естественные процессы агроэкосистемы, максимальное использование собственного биопотенциала системы, сохранение и улучшение

почвенного плодородия, и, наконец, производство экологически чистой продукции, свободной от синтетических пестицидов, гербицидов и искусственных удобрений. Это означает отказ от химических средств защиты растений и стимулирования роста, а также переход к биопрепаратам и агротехническим методам, направленным на усиление природных защитных механизмов растений и почвы.

В органическом земледелии широко используются природные удобрения. Это компост, навоз травоядных животных, птичий помет, морские водоросли, сидераты, древесная зола. Компостирование органических отходов – это эффективный способ переработки растительных остатков и навоза в ценное удобрение, богатое гумусом и полезными микроорганизмами.

Борьба с вредителями и болезнями растений в органическом земледелии основана на профилактических мерах и использовании биологических методов. Это включает в себя привлечение полезных насекомых, птиц и других животных, которые питаются вредителями. Также применяются биопрепараты на основе полезных микроорганизмов, способных подавлять развитие болезнетворных микроорганизмов. Важную роль играет и правильный выбор сортов растений, устойчивых к болезням и вредителям. Мульчирование почвы – еще один эффективный метод борьбы с сорняками и улучшения ее структуры. В качестве мульчи используются органические материалы: солома, сено, скошенная трава, измельченная древесина, листья. Мульча подавляет рост сорняков, улучшает водный режим почвы, защищает ее от эрозии и способствует поддержанию оптимальной температуры.

В целях полного раскрытия темы работы, а также проведения анализа зарубежного опыта для выявления ошибок и основных проблем, необходимо рассмотреть опыт других стран в органическом земледелии. Обратимся к диаграмме, на которой показаны 10 стран-лидеров в органическом земледелии (рис. 1).

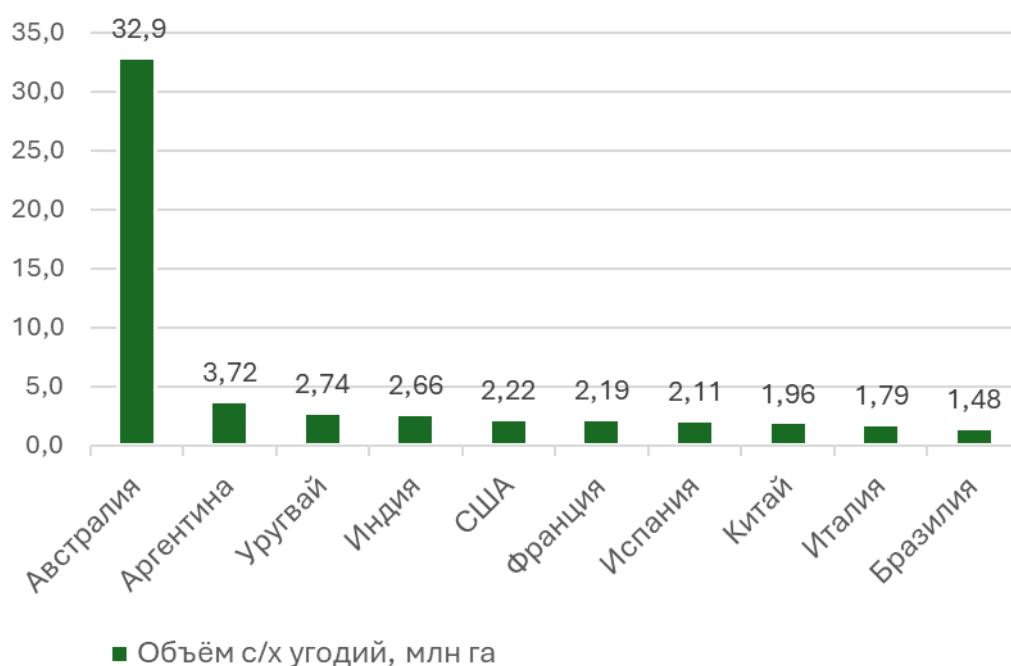


Рис. 1. 10 стран-лидеров в органическом сельском хозяйстве

Анализ данной диаграммы позволяет нам понять, что лидирующей страной является Австралия. На континенте существует огромное количество неосвоенных земель, что даёт возможность расширять хозяйства и увеличивать производства. Также в Австралии засушливый климат, который может создавать трудности для развития традиционного сельского хозяйства. Однако фермеры, практикующие органическое земледелие, находят способы сохранять влагу в почве и получать высокие урожаи без использования химических удобрений. Нельзя не отметить государственную поддержку данной инициативы в виде

субсидий и льгот, а также высокий уровень экологической ответственности страны. По данным ФАО, в странах СНГ земли под органическое земледелие от общего количества сельскохозяйственных угодий каждой страны распределились следующим образом (рис. 2).

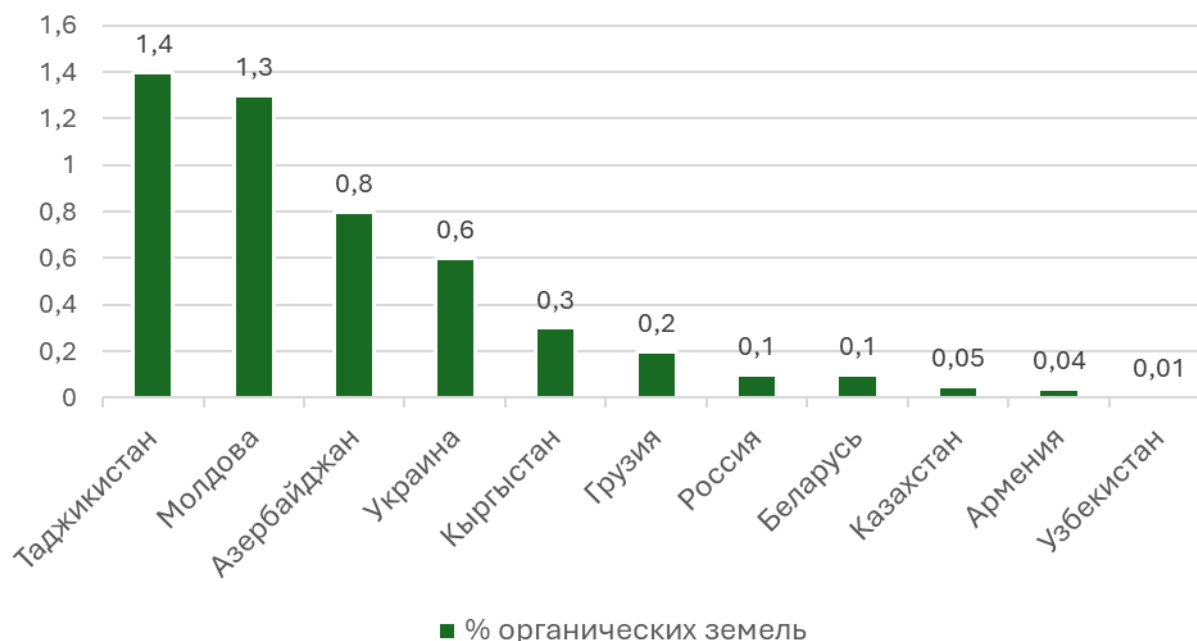


Рис. 2. Количество отведённых под органическое земледелие посевных площадей, %

Проанализировав данный рисунок, можно отметить, что Россия далека от лидирующих позиций среди стран СНГ. Это также связано с наибольшим количеством посевных территорий в России.

Рассмотрим опыт других стран. В США 16 476 сертифицированных производителей органической продукции. Государственная поддержка включает возмещение затрат на сертификацию: до 50% затрат, но не более 500 долларов США за область сертификации. В стране предоставляется бесплатное обучение от Национальной органической программы (NOP) и онлайн-семинары от Службы охраны природных ресурсов Министерства сельского хозяйства США (NRCS). Также осуществляется охрана окружающей среды: программа поощрения качества окружающей среды (EQIP) предоставляет финансовую и техническую помощь для решения проблем с природными ресурсами. Проводится финансирование расширения деятельности университетов, включая программы Национального института продовольствия и сельского хозяйства: программу исследований и образования в области устойчивого сельского хозяйства (SARE) (8042 проекта на 354 млн. долл. с 1988 года), инициативу по исследованиям и распространению знаний в области органического сельского хозяйства (OREI) и программу органических переходов (ORG).

Япония насчитывает 7039 сертифицированных органических производителей. Стратегия Министерства сельского хозяйства предполагает утроение числа органических фермеров и земель к 2030 году и увеличение рынка органических продуктов до 3 млрд. долларов. Государство поддерживает создание Центров органического земледелия для: организации сетей производителей, продвижения продукции, обучения новых фермеров (пример: г. Исуми), поддержки в сертификации JAS (1,3 млн. долларов). Предусмотрена прямая поддержка фермеров (около 65 долл. США/0,1Га) за внедрение органических методов, посев сидератов, сокращение использования синтетических удобрений/пестицидов более чем на 50%. Условия: производство на продажу, внедрение принципов GAP. Также поддерживаются мероприятия по расширению экологически безопасного сельского хозяйства.

В Австралии 3906 сертифицированных органических производителей. Австралия лидирует по площади органических сельхозугодий, также развито производство кормов,

фруктов, овощей и молочной продукции. Национальная ассоциация устойчивого сельского хозяйства (с 1986 года) занимается просвещением и сертификацией (внутренний рынок и экспорт). Министерство сельского хозяйства проводило консультации по улучшению регулирования органического сектора, получив отзывы от бизнеса, потребителей и экспертов. С 2021 года действует Консультативная группа по органической промышленности, разрабатывающая рекомендации для правительства.

В Беларуси активно создаются условия для развития производства органической продукции. Разработан Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики на 2021–2025 годы, включающий раздел о развитии органического производства. Отмечается рост числа производителей органической продукции: с 13 в 2016 году до 38 в 2023 году. Государство оказывает поддержку производителям, возмещая расходы на оценку соответствия продукции требованиям. В Госпрограмму «Аграрный бизнес» на 2021–2025 года включено соответствующее мероприятие с финансированием в 2 297 910 бел. рублей. НАН Беларуси проводит научные исследования в области органического сельского хозяйства, разрабатываются методические рекомендации, регламенты производства органической продукции животноводства и растениеводства. Активно развивается производство органических удобрений.

Проанализировав опыт других государств, можно сделать несколько выводов. Во-первых, в странах, в которых развито органическое сельское хозяйство, проводится бесплатное обучение для фермеров, чего нет у отстающих в этом направлении. Очевидно, что данная мера поддержки оказывает благотворное влияние на развитие. Во-вторых, можно заметить, что государства оказывают финансовую поддержку в сертификации продукции, что облегчает работу фермеров. В-третьих, в Японии предусмотрена прямая поддержка, что стимулирует увеличение количества фермеров, занимающихся органическим земледелием. В-четвёртых, нельзя не отметить факт развития производства органических удобрений в Беларуси. Это также способствует развитию органического сельского хозяйства. Все вышеприведённые выводы мы сравним в следующей главе с состоянием данного направления в России.

До 24 февраля 2022 года российский рынок органических продуктов питания демонстрировал ярко выраженную зависимость от импорта. По оценкам экспертов, доля иностранной продукции составляла около 80%, что свидетельствовало о недостаточном развитии отечественного органического сектора (рис. 3). Это положение дел обуславливалось рядом факторов, включая недостаточное финансирование и поддержку со стороны государства, несовершенство законодательной базы в области органического земледелия, а также недостаток квалифицированных кадров и передовых технологий. Ситуация напоминала парадокс: при наличии огромных площадей сельскохозяйственных угодий, Россия закупала значительную часть экологически чистой продукции за рубежом.

Возникшие западные санкции и торговые ограничения резко изменили ситуацию. Практически мгновенно сократился доступ к импортным органическим продуктам, что создало вакуум на рынке и открыло новые возможности для российских производителей. Этот вынужденный «рывок» стал возможным благодаря тому, что многие импортные товары оказались недоступны, создав необходимость импортозамещения отечественными аналогами. Однако, даже при наличии благоприятных условий переход к массовому производству органической продукции – процесс сложный и длительный.

Правительство России, понимая значимость развития органического сельского хозяйства, заявило о цели стать крупным экспортером такой продукции, стремясь к достижению 10% доли на мировом рынке к середине 2030-х годов [2]. Эта амбициозная задача требует не только увеличения объемов производства, но и значительного повышения качества и конкурентоспособности российской органической продукции на глобальном рынке. Для достижения этой цели необходимо улучшить логистику, расширить доступ к финансированию для фермеров, провести масштабную просветительскую кампанию среди потребителей, чтобы повысить спрос на органическую продукцию.

В настоящее время отсутствует централизованный сбор данных по объему производства органических продуктов в России. Различные оценки показывают, что доля органического сектора в общем объеме производства продовольствия составляет менее 4% [3], что свидетельствует о его крайне незначительной доле на фоне преобладающего промышленного сельского хозяйства. Даже после 2022 года, несмотря на снижение импорта, российский продовольственный рынок продолжает оставаться в значительной степени зависимым от традиционных, интенсивных методов земледелия. Однако потенциал для роста органического сектора очевиден, и его реализация будет способствовать как экономическому росту, так и экологической безопасности страны. Для этого необходимо государственное регулирование, инвестиции и изменения в отношении потребителей к экологически чистым продуктам.



Рис. 3. Органический рынок в РФ, млн евро

Анализируя график (рис. 3), можно заметить увеличение спроса на органическую продукцию среди населения, также стало увеличиваться Российское производство [4]. Но стоит отметить, что большинство органических земель находится в европейской части России, что может быть связано с более плодородными почвами, большим уровнем финансирования и возможностей производителей. Также на это оказывает влияние спрос потребителей, который обусловлен тенденцией здорового питания в Центральной части России, что тоже основано на доходах населения.

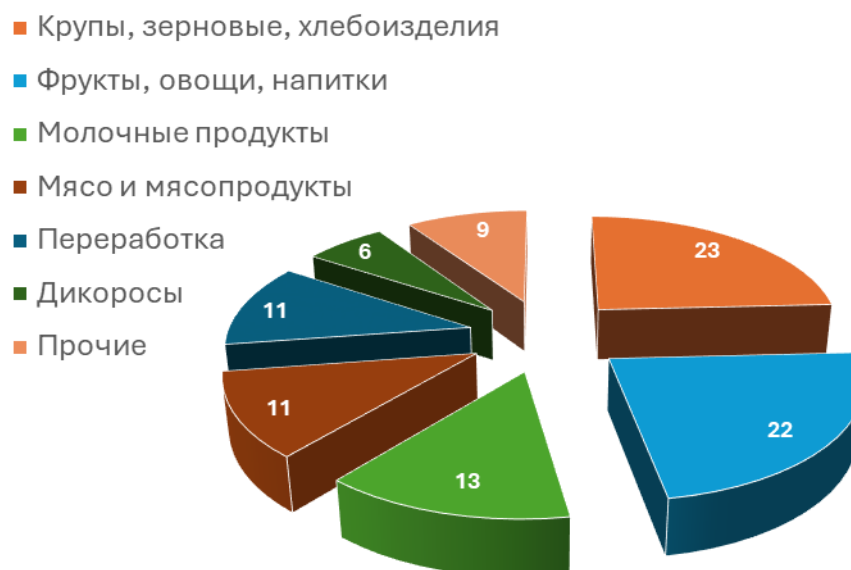


Рис. 4. Российские органические производители по видам деятельности, %

По вышепредставленной диаграмме (рис. 4) заметно, что из органической продукции в РФ больше всего производится круп, зерновых, хлебоизделий, фруктов, овощей и напитков.

В России, как и во всем мире, наблюдается тенденция к укрупнению сельскохозяйственного производства, где лидирующие позиции занимают крупные агрохолдинги. Параллельно с этим, крупные игроки пищевой индустрии все чаще обращаются к производству органической продукции. Этот переход активно стимулируется государственной политикой, что закреплено в соответствующих законодательных актах.

В частности, производители органических продуктов имеют право на получение финансовой помощи из федерального бюджета, хотя ее объем пока невелик по сравнению с финансированием традиционного сельского хозяйства. Государственные программы предусматривают компенсацию затрат на получение органических сертификатов, возможность бесплатной сертификации и субсидии, доступные также производителям традиционной продукции. Тем не менее, многие производители сталкиваются с трудностями в получении доступа к этим мерам поддержки, что сдерживает развитие органического сектора.

Поддержка органического сельского хозяйства в России, подобно опыту других стран, например, Индии, где отмечается значительный рост органического производства, обусловлена не только экономическими соображениями. Важным приоритетом является обеспечение населения безопасными и качественными продуктами питания, производство которых не наносит вреда окружающей среде. Это особенно важно в условиях глобального изменения климата и ухудшения экологической обстановки, что требует от государств более ответственного подхода к обеспечению продовольственной безопасности.

Сектор органических продуктов питания в России можно условно разделить на три основных сегмента. Первый сегмент — это неформальное органическое производство, которое включает в себя домохозяйства и экодеревни. В таких местах часто выращиваются продукты для личного потребления или небольших локальных рынков. Этот сектор характеризуется низким уровнем формализации и зачастую не подлежит строгому контролю со стороны государственных органов.

Второй сегмент — полужформальное органическое производство. Это могут быть экопоселения, которые следуют принципам органического земледелия, но не всегда имеют официальную сертификацию. В таких сообществах зачастую применяются методы устойчивого земледелия, и продукты могут продаваться на местных рынках или через небольшие сети. Этот сектор также может включать в себя элементы сетевого взаимодействия, подобные тем, что наблюдаются в бразильских экосообществах, где производители объединяются для совместной реализации своей продукции.

Третий сегмент — это формальное органическое производство, которое включает в себя крупные фермерские хозяйства и агрокомпании, которые получили официальную сертификацию. Эти предприятия обычно имеют доступ к современным технологиям, применяют научно обоснованные методы ведения сельского хозяйства и активно участвуют в государственных программах поддержки. Они также могут экспортировать свою продукцию за границу, что открывает дополнительные возможности для роста и развития.

Первой проблемой для начинающего бизнеса является высокая стоимость сертификационного входа на рынок, которая может составлять 300–800 тысяч рублей в год. Данная сумма является высокой для одиночных фермеров или крестьянско-фермерских хозяйств. Необходимо отметить, что на сегодняшний день государство внедряет программу субсидирования затрат на сертификацию по всей стране. Уже сейчас Воронежская область покрывает 100% расходов [5]. Таким образом, данная мера поддержки позволит начать заниматься органическим земледелием, оплачивая только часть сертификации, либо покрывая её полностью субсидией.

Второй проблемой для бизнеса является высокая стоимость и дефицит необходимых технологий и оборудования. Во-первых, отсутствует достаточное количество специализированной техники, предназначенной для "зелёного" земледелия. Например,

фермерам остро не хватает оборудования для точного внесения сертифицированных органических удобрений, включая системы GPS-навигации и автоматизированного контроля дозировки. Необходимы также специализированные хранилища для этих удобрений, соответствующие санитарным нормам и предотвращающие их порчу. Механизация процесса прополки и обрезки также крайне важна для повышения эффективности и снижения трудозатрат. Также стоит отметить дефицит квалифицированных кадров, который наблюдается во всех областях агропромышленного комплекса. Необходимо обучать фермеров правильному применению органических удобрений, методам биологической защиты растений от вредителей и болезней, а также принципам устойчивого земледелия.

Финансовые затраты на ведение органического земледелия весьма существенны и являются серьёзным барьером для многих фермерских хозяйств: 20–100 тысяч рублей на гектар для зерновых и 50–800 тысяч рублей на гектар для плодовых культур – представляют собой лишь минимальные оценки и могут значительно варьироваться в зависимости от конкретных условий и выбранных технологий. В эти затраты входят не только приобретение оборудования и сертифицированных материалов, но и дополнительные расходы на консалтинговые услуги, обучение персонала, сертификацию продукции и маркетинг. Для преодоления этого барьера необходимы государственные субсидии, льготное кредитование и инвестиции в развитие инфраструктуры экопроизводства. На данный момент государство вводит по всей России такие программы как возмещение затрат на обучение, маркетинговые исследования, участие в выставках, прохождение процедуры сертификации и субсидирование затрат на биологические средства защиты, питание, ветпрепараты, кормовые добавки (уже сейчас Воронежская область субсидирует 50% таких затрат [5]).

Ещё одной проблемой, встающей перед желающими заниматься органическим земледелием, является не только малочисленное количество сертифицированных земель, но и долгое время подготовки почвы к органическому земледелию. Всего 0,003% земель сельскохозяйственного назначения в России сертифицированы для органического земледелия. Это ничтожно малая доля, наглядно демонстрирующая масштабы задачи и потенциал развития этого направления. Дело в том, что сертификация подтверждает отсутствие вредных веществ в почве, накопленных в результате длительного применения агрохимии и ГМО. Процесс требует соблюдения строгих критериев и занимает не менее трёх лет. Это «период очищения», в течение которого земля «отдыхает» от химического воздействия. Только после этого независимые контролирующие организации проводят исследования почвы, анализируя её состав на наличие пестицидов, гербицидов, тяжелых металлов и других вредных веществ. Только при полном соответствии строгим стандартам земля получает сертификат, подтверждающий её пригодность для органического земледелия. Именно поэтому фермерам приходится заниматься органическим сельским хозяйством на заброшенных землях, которые необходимо заново вводить в оборот, и тратить значительную часть финансовых средств. Но нужно отметить, что сейчас государство реализует программу по погектарной поддержке на период конверсии земель — от 8000 до 10 000 рублей на гектар [5].

Четвёртой проблемой для производителей является высокая стоимость экологически чистой продукции. Разница в цене между «эко» и традиционными продуктами действительно существенна и колеблется от 20 до 50%. Во-первых, срок хранения органических продуктов короче, что влечет за собой повышенные логистические затраты и потери от порчи. Более короткий срок годности обусловлен отсутствием консервантов и других химических добавок, используемых в промышленном сельском хозяйстве для увеличения срока хранения. Во-вторых, производство экологически чистой продукции часто предполагает более низкую урожайность, чем при использовании интенсивных методов ведения сельского хозяйства. И, в-третьих, большинство производителей органической продукции – это малый и средний бизнес, в котором себестоимость единицы продукции из-за многочисленных факторов будет выше. Нужно заметить, что сейчас вводится государственная программа по субсидированию каждого литра произведённого молока [5]. Но такая мера поддержки подходит далеко не всем фермерам. Производители вынуждены устанавливать такие цены, чтобы их бизнес являлся

прибыльным, но вследствие низкого уровня жизни населения продукция не пользуется большим спросом. Для большинства покупателей цена является решающим аргументом при выборе продуктов питания. Культура потребления органических продуктов в России пока ещё находится на начальном этапе развития. Многие потребители недостаточно информированы о преимуществах экологически чистой продукции, не понимают разницу между маркетинговыми уловками и действительно сертифицированными эко-товарами, а также склонны недооценивать долгосрочные преимущества для здоровья и окружающей среды, связанные с потреблением органических продуктов. Действительно, массовый спрос пока ориентирован на более дешёвую продукцию традиционного сельского хозяйства. Однако наблюдается растущий интерес к здоровому образу жизни и экологически чистым продуктам, особенно среди более обеспеченных слоёв населения. Для изменения ситуации необходимо комплексное решение, включающее государственную поддержку, повышение информированности потребителей и развитие инфраструктуры.

Россия обладает колоссальным потенциалом для развития органического сельского хозяйства. Её обширные территории, включающие миллионы гектаров залежных земель (около 4,4 миллионов га по данным 2022 года [6]), представляют собой уникальную возможность для создания масштабных органических ферм. Эти земли, долгое время находившиеся вне интенсивного сельскохозяйственного использования, прошли естественный процесс самоочистки от накопленных ранее химических веществ. Резкое сокращение применения минеральных удобрений после 1991 года (с 9,9 млн. тонн в 1990 году до 1,96 млн. тонн в 2011 году [7]) способствовало этому процессу, создав благоприятные условия для перехода к органическим методам ведения сельского хозяйства. Хотя абсолютные объёмы внесения удобрений резко упали, наблюдается положительная динамика в использовании органических удобрений. Удельный вес площадей, удобренных органикой, вырос вдвое с 1995 по 2011 год, достигнув 7,3% от общей посевной площади в 2011 году. Этот рост свидетельствует о растущем интересе к экологически чистым методам земледелия.

Среди ключевых факторов успеха перехода к органическому земледелию в России – доступность информации и технологий для фермеров. Многие сельхозпроизводители, особенно в отдалённых регионах, не имеют достаточных знаний о принципах органического земледелия, сертификации продукции и рынках сбыта. Необходимо активное государственное участие в образовательных программах, направленных на повышение квалификации сельских тружеников, а также создание информационных платформ, доступных всем категориям фермеров.

Финансовые аспекты также играют важную роль. Переход на органическое земледелие требует определенных инвестиций, включая приобретение органических удобрений, семян и оборудования, а также адаптацию существующих производственных процессов. В начальный период органическое земледелие может быть менее прибыльным, чем традиционное, что может стать препятствием для многих фермеров. Государственная поддержка в виде субсидий, льготных кредитов и гарантий может стать стимулом для внедрения органических технологий.

Рынок органической продукции также нуждается в развитии. Необходимо создание эффективных каналов сбыта, обеспечивающих справедливую цену за органическую продукцию и доступ потребителей к качественным экологически чистым продуктам. Прозрачная система сертификации и контроля качества является основой доверия к органической продукции со стороны потребителей.

Отсутствие применения генной инженерии в российском сельском хозяйстве, в отличие от многих развитых стран, может быть как преимуществом, так и недостатком. С одной стороны, это позволяет сохранить генетическое разнообразие сельскохозяйственных культур и исключить риски, связанные с использованием ГМО. С другой стороны, биотехнологии могут предложить решения для повышения урожайности и устойчивости растений к болезням и вредителям, что особенно важно в условиях меняющегося климата. Рассмотрение возможности использования безопасных биотехнологий, не связанных с ГМО, например, методов генной редакции CRISPR, заслуживает отдельного обсуждения.

Кроме того, необходимо учитывать региональные особенности. Климатические условия, почвенный состав и доступность ресурсов существенно влияют на выбор органических методов ведения сельского хозяйства. Для эффективного развития органического сектора необходим дифференцированный подход, учитывающий специфику различных регионов России. Проведём SWOT-анализ органического земледелия в России (табл. 1).

Таблица 1. **SWOT-анализ органического земледелия в России**

S Лучшие вкусовые качества продуктов питания; Сохранение окружающей среды; Безопасность для здоровья человека и животных, так как органические продукты не содержат болезнетворных микроорганизмов, паразитов, ГМО и аллергических компонентов	W Ограниченная доступность органических удобрений и технологий; Недостаток образования и опыта фермеров и агрономов в области органического земледелия; Более низкая урожайность по сравнению с традиционными методами в начале переходного периода
O Расширение рынка органических продуктов за счёт роста тенденции здорового образа жизни и правильного питания; Экспорт продукции за границу; Развитие сотрудничества с научными учреждениями для внедрения инновационных технологий	T Конкуренция со стороны стран-лидеров в сфере органического земледелия (главным экспортёром на сегодняшний день является США); Отсутствие инвестиций и малочисленное количество государственных программ; Риск увеличения затрат в периоде конверсии земель

Подводя итог, можно сказать, что потенциал развития органического сельского хозяйства в России огромен. Однако, для его реализации необходимо комплексное решение, включающее государственную поддержку, инвестиции в образование и инфраструктуру, развитие рынка органической продукции, а также учет региональных особенностей. Только в этом случае Россия сможет занять достойное место на мировом рынке органической продукции и обеспечить население качественными экологически чистыми продуктами питания. Активное сотрудничество с международными организациями, занимающимися продвижением органического земледелия, также может сыграть важную роль в достижении этой цели. Дальнейшие исследования в области органического земледелия, адаптированные к российским условиям, способствуют повышению эффективности и конкурентоспособности этого сектора.

В Суворовском районе Тульской области органическое сельскохозяйственное производство в сочетании с элементами аграрного туризма осуществляет общество с ограниченной ответственностью «Тульский зверобой», сертифицированное НП «Агрософия». Общая площадь сельскохозяйственных угодий в хозяйстве составляет в настоящее время 1000 га, в том числе 350 га – это земля в пойме реки Упы. ООО «Тульский зверобой» занимается выращиванием зерновых культур на фуражные цели: пшеница, тритикале, ячмень, зернобобовые. Полтора гектара пашни здесь занимают овощи - свекла, морковь, капуста, кабачки, картофель. поголовье скота составляет 260 коров и молодняка галловейской породы. Кроме КРС, в хозяйстве держат 610 голов свиней разного возраста. Ферму «Горчиная поляна» я выбрала не случайно, так как я несколько раз имела возможность попробовать продукцию этой фермы – от колбас до овощей.

Сертификацию на органическую продукцию ферма прошла лишь в июле 2022 года, хотя вышла она на рынок в 2008 году. На примере данного предприятия будет показано, как изменилась финансовая ситуация после перехода на рынок органической продукции.

Таким образом, можно сделать вывод, что после выхода на рынок органической продукции финансовое состояние фермы улучшилось. Прибыль в 3 тысячи рублей в 2021 году говорит нам о том, что производство совсем скоро могло стать убыточным. Но, благодаря

получению сертификата, компания обрела новых покупателей и новые рынки сбыта продукции (табл. 2).

Таблица 2. Основные показатели эффективности производства в ситуациях «С проектом» и «Без проекта»

Показатели	Ед. изм.	ООО «Тульский зверобой»	
		Без проекта	С проектом
Выручка от реализации товарной продукции	тыс. руб	17 544	20 800
Прибыль	тыс. руб	3	127
Рентабельность продаж	%	-1,2	0,4
Рентабельность активов	%	0	0,7
Коэффициент текущей ликвидности	-	2,1	9,7
Коэффициент быстрой ликвидности	-	0,14	1,52
Коэффициент абсолютной ликвидности	-	0,03	1,14
Финансовая устойчивость	-	0,68	0,84
Обеспеченность собственными средствами	-	0,46	0,78

Подведём итоги по всему вышесказанному материалу. На сегодняшний день Россия отстаёт в области органического земледелия от других стран, но имеет возможности для развития и выхода с данной продукцией на мировой рынок. Основополагающими проблемами является как низкий спрос на продукцию, дороговизна открытия и ведения бизнеса, низкая государственная вовлечённость, так и особенности ведения органического земледелия. Несомненно, при увеличении государственных программ, проведения дополнительного обучения и мероприятий по осведомлённости граждан о здоровом питании и органических продуктах, Россия сможет развиваться более быстрыми темпами в данном направлении. Но нужно отметить, что переход на органическое сельское хозяйство будет длительным процессом в силу особенности состояния земель, подходящих под органическое земледелие.

По моему мнению, необходимы следующие меры для развития органического сельского хозяйства в России:

1. Производство органических удобрений по более низкой стоимости. На данный момент в список разрешённых удобрений входят составы, не вредящие наземным и почвенным обитателям и увеличивающие слой гумуса. Проанализировав рынок, можно сделать вывод, что на 1 га потребуется удобрений не дешевле, чем на 10 000 рублей.
2. Увеличение государственных финансовых мер поддержки органических производителей. На сегодняшний день реализуются программы, которые не всегда подходят под всех производителей.
3. Проведение мероприятий по продвижению здорового питания и полезности органической продукции для организма человека. Именно повышение спроса на товары будет способствовать расширению рынка.
4. Обучение и консультации по органическому земледелию для желающих открыть свой бизнес. На данный момент в законодательстве нет обширного и чёткого пояснения для органического земледелия. Проведение лекций, тренингов помогут разобраться, с чего начинать свой бизнес и как правильно его вести. Такая мера поддержки поможет потенциальным фермерам и производителям сделать первый шаг.
5. Практически главным фактором является спрос. К сожалению, массовая продукция, выращенная традиционным методом и органическая продукция находятся в разных ценовых сегментах, что препятствует потребителю приобрести товар. Высокая стоимость продукции и низкий уровень жизни населения в регионах, отдалённых от

Центральной России и крупных городов, не позволяют увеличиваться спросу на органику. Необходимо постараться минимизировать убытки и, тем самым, снизить стоимость продукции.

Таким образом, Россия имеет большие возможности развития в области органического земледелия, так как обладает большими территориями, пригодными для сельского хозяйства. Для перехода на органическое земледелие и выхода на мировой рынок потребуется много лет, но нужно осознавать, что данное направление является динамично развивающимся и является составным элементом системы сельского хозяйства и экологии.

Список использованных источников

1. Мистратова Н.А., Ступницкий Д.Н., Яшин С.Е. Органическое земледелие в России (обзорная статья) // Вестник КрасГАУ. 2021. №. 11 (176). С. 100–107.
2. Россия может занимать до 10% мирового рынка органических продуктов через 20 лет. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kvedomosti.ru/news/rossiya-mozhet-zanyat-do-10-mirovogo-rynka-organicheskix-produktov-cherez-20-let.html> (дата обращения: 06.09.2025).
3. Доля органического сельскохозяйственного производства в России не превышает 4%. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kvedomosti.ru/?p=1087825> (дата обращения: 05.09.2025).
4. Производство органической сельхозпродукции в России ежегодно растёт на 10%. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/pressservice/news/proizvodstvo-organicheskoy-selkhozproduksii-v-rossii-ezhegodno-rastet-na-10> (дата обращения: 06.09.2025).
5. Чистый и зелёный. Как в России будет развиваться органическое сельское хозяйство. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sber.pro/publication/chistyj-i-zelyonyj-kak-v-rossii-budet-razvivatsya-organicheskoe-selskoe-hozyajstvo/> (дата обращения: 06.09.2025).
6. Площадь земель в хозяйстве всех категорий. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/opendata/7708234640-VSHP2016232> (дата обращения: 06.09.2025).
7. Левкевич Р.Е., Сенотрусова С.В. Производство минеральных удобрений в России: тенденции развития отрасли // Инновации и инвестиции. 2023. №. 8. С. 361–365.

УДК 004.042

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ИТ-СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ VDI И VGPU НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Данилов Д.С. (студент, ПГУТИ), Цибикин А.В. (студент, ТГУ), Папе А.В. (ПГУТИ)

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Стефанова И.А. (ПГУТИ)

e-mail: i.stefanova@psuti.ru

В работе рассматриваются подходы к повышению эффективности администрирования ИТ-систем предприятий посредством внедрения технологии VDI. Показаны преимущества её внедрения, включая снижение затрат на оборудование, повышение безопасности данных, упрощение масштабируемости и управление лицензиями. Уделено внимание социальным аспектам, а также описан практический опыт построения VDI-системы на базе платформы Proxmoх и пользовательской видеокарты с поддержкой виртуализации GPU. Полученные результаты подтверждают актуальность внедрения подобных решений для бизнеса, образования и исследовательских центров.

Ключевые слова: виртуализация, VDI, GPU, Proxmoх, ИТ-инфраструктура, масштабируемость, безопасность данных, цифровая инклюзия, электронные отходы, экология, удалённая работа, облачные сервисы.

В настоящее время наблюдается быстрый рост потребности в высокопроизводительных вычислениях, развитие искусственного интеллекта и цифровых двойников, а также трендов на импортозамещение и технологическую независимость. В этих условиях технология виртуализации графических процессоров (vGPU) становится не только инструментом оптимизации ИТ-инфраструктуры, но и стратегическим ресурсом для управления изменениями в компаниях и образовательных учреждениях. В отличие от традиционного использования специализированного графического процессора (GPU), виртуальный процессор vGPU позволяет распределять ресурсы между множеством пользователей и приложений, что обеспечивает гибкость, масштабируемость и экономическую эффективность. Современные организации демонстрируют растущую зависимость от комплексных информационных систем, обеспечивающих управление, аналитику и внутренние коммуникации. Для поддержания устойчивости и скорости принятия решений необходима развитая совокупность аппаратных и программных инструментов, позволяющих автоматизировать операции, ускорять обработку данных и повышать точность управленческих выводов [1]. Одновременно усиливаются требования к оперативности бизнес-процессов, оптимизации логистических цепочек и сохранности корпоративных данных, объём которых постоянно увеличивается. В результате формируется масштабная ИТ-инфраструктура, призванная решать широкий круг задач от аудита и совершенствования технологических процессов до обеспечения кибербезопасности, администрирования рабочих мест и мониторинга вычислительных ресурсов [2, 7]. Фактически, информационная инфраструктура становится фундаментом функционирования предприятия, определяя его производительность, гибкость и устойчивость. По мере расширения бизнеса растёт количество вычислительных узлов и рабочих мест, что усложняет их поддержку и интеграцию в единую систему управления. Расширение технологического контура требует увеличения численности обслуживающего персонала, что влечёт рост затрат на эксплуатацию и лицензирование, а также повышает зависимость от человеческого фактора. Увеличение доли рутинных операций и необходимость постоянного контроля за состоянием инфраструктуры создают дополнительные риски, связанные с безопасностью и целостностью данных. Всё это подчёркивает актуальность поиска решений, направленных на централизацию, автоматизацию и оптимизацию процессов администрирования ИТ-среды. Кроме того, стоит помнить и о влиянии крупной ИТ-инфраструктуры на человека и общество. Работники начинают больше заниматься рутинной, операционной деятельностью и меньше уделять времени на действительно трудоемкие задачи, например, на разработку приложения или расчет проектного бюджета [4, 7]. От этого они больше устают, а работа уже не приносит им той радости и удовольствия, что приносила раньше. Именно поэтому, помимо технических и

экономических аспектов необходимо рассмотреть и междисциплинарное измерение, а именно, каким образом виртуализация рабочих мест, в том числе с использованием GPU, влияет на жизнь сотрудников, общество и окружающую среду.

Рост сложности корпоративных ИТ-систем и увеличение требований к их надёжности заставляют специалистов искать инновационные подходы к управлению, планированию и обеспечению безопасности инфраструктуры. В этих условиях особенно актуальными становятся решения, направленные на повышение гибкости архитектуры, прозрачность процессов администрирования и снижение эксплуатационных рисков. Необходимость комплексного обновления ИТ-практик подтверждает значимость исследования, охватывающего как теоретические, так и прикладные аспекты цифровой трансформации. Одним из таких решений является концепция VDI (Virtual Desktop Infrastructure), в сочетании с технологией виртуализации графических процессоров (vGPU). Эти подходы сформировались как ответ на вызовы цифровизации, требующие стандартизации рабочих мест, централизации вычислительных ресурсов и повышения киберустойчивости предприятий. Использование vGPU позволяет не только ускорить обработку данных и снизить затраты на оборудование, но и интегрировать в корпоративную среду современные сервисы – от облачных вычислений до инструментов искусственного интеллекта, цифровых двойников и VR/AR-приложений. С методологической точки зрения внедрение vGPU и VDI следует рассматривать в контексте управления изменениями: переход на виртуализированные рабочие пространства требует адаптации организационных процессов, трансформации кадровых практик и пересмотра политики информационной безопасности для работы в распределённой цифровой экосистеме.

В рамках настоящего исследования авторы ставят задачу проанализировать возможности применения технологий виртуализации рабочих столов (VDI) и виртуализации графических процессоров (vGPU) для оптимизации процессов управления корпоративной ИТ-инфраструктурой. Целью эксперимента является построение функциональной VDI-системы на базе доступного пользовательского оборудования с использованием открытого и свободно распространяемого программного обеспечения (OpenSource, FreeWare, ShareWare, а также Trial-лицензий) и интеграция полученного решения в рабочие процессы организации. Дополнительно рассматриваются перспективы масштабирования подобной архитектуры, а также типовые трудности, с которыми могут столкнуться предприятия при её внедрении.

Для реализации поставленных целей была использована экспериментальная аппаратная платформа, разработанная и собранная одним из авторов исследования. Её состав отражает принципы рационального проектирования: использование надёжных, но массово доступных компонентов, что позволяет воспроизвести подобный эксперимент практически в любой организации без значительных инвестиций.

Аппаратная конфигурация включала системную плату форм-фактора ATX (чипсет с двумя сетевыми интерфейсами 1/2,5 Гбит/с и поддержкой M.2/SATA III), процессор семейства Intel Core десятого поколения (4 ядра / 8 потоков, 3.6–4.3 ГГц, VT-x), суммарно 64 ГБ DDR4 (два комплекта с XMP-профилями до 3200 МГц), NVMe-накопитель PCIe 3.0×4 (M.2 2280) и графический ускоритель NVIDIA (TU106) с 12 ГБ GDDR6, поддерживающий CUDA и аппаратные сценарии виртуализации GPU.

Подобная конфигурация сочетает относительную доступность с достаточной вычислительной мощностью для демонстрации принципов виртуализации графических ресурсов. Отдельное внимание уделялось оптимизации баланса между производительностью и энергопотреблением, а также стабильности системы при длительных нагрузках.

В качестве программной платформы применена Proxmox VE 7.x (на базе Debian 11), объединяющая гипервизор KVM, контейнеризацию LXC и средства кластеризации/репликации. Тестирование проводилось на нескольких минорных обновлениях ветки 7 и соответствующих версиях ядра семейства 5.15-рве, что позволило проверить совместимость драйверов и устойчивость под типовой нагрузкой [8].

Инфраструктура, реализованная по модели VDI, представляет собой комплексную систему централизации вычислительных ресурсов, приложений и пользовательских окружений. Основная идея заключается в консолидации вычислений на стороне сервера/гипервизора. Пользователь получает доступ к своему рабочему пространству через брокера соединений и защищённый канал, а установка и сопровождение программного обеспечения выполняются централизованно. Такая архитектура устраняет зависимость рабочих мест от конкретного оборудования, обеспечивает предсказуемое управление версиями ПО и снижает риск отказов.

Простейшая реализация VDI базируется на пуле закреплённых ВМ с неизменными привязками к пользователям. Этот подход упрощает управление и подходит для небольших коллективов. Более сложная и гибкая конфигурация подразумевает динамическое создание виртуальных рабочих столов с учетом профиля пользователя, набора приложений и уровня доступа. Такая схема повышает безопасность, позволяет гибко распределять ресурсы и реализует принципы модели контроля доступа, близкой к Zero Trust (минимально необходимые права, MFA, сегментация) при разграничении прав доступа [4, 6].

Архитектура построена модульно, что облегчает её расширение

- на уровне вычислений размещаются гипервизор, шаблоны виртуальных машин, профили GPU и контейнеры;
- на уровне доступа функционирует брокер соединений с аутентификацией, механизмами управления сессиями и графическими протоколами (например, RDP или SPICE);
- на сервисном уровне обеспечивается централизованный мониторинг, журналирование, резервное копирование и управление обновлениями;
- дополнительно используется шлюз для удалённого доступа и сегментация сети, разделяющая пользовательский и административный трафик.

Рассмотрим, каким образом созданная инфраструктура упрощает взаимодействие между участниками рабочих процессов, снижает эксплуатационные расходы, повышает гибкость управления цифровыми ресурсами, уровень информационной безопасности и устойчивость к технологическим изменениям.

Авторы проекта являются практикующими специалистами в области ИТ и активно взаимодействуют с коллегами и студентами, осваивающими современные технологии. В ходе повседневной работы им неоднократно приходилось предоставлять удалённым сотрудникам или партнёрам доступ к вычислительным ресурсам в виде отдельных физических рабочих мест, обслуживать и обновлять их вручную. Такая организация процесса сопровождалась значительными временными затратами, повышала риск ошибок, увеличивала расходы на обслуживание и формировала дополнительную угрозу безопасности при работе с конфиденциальными данными. Переход к архитектуре VDI позволил устранить эти ограничения, обеспечив централизованное управление, единый контур безопасности и унификацию рабочих окружений.

Переход на инфраструктуру VDI в практическом аспекте продемонстрировал заметное сокращение расходов на закупку и обслуживание оборудования. До внедрения виртуализации каждому сотруднику или партнёру требовалось предоставлять отдельную физическую рабочую станцию, что увеличивало капитальные затраты, логистику и риски потери данных при выездном обслуживании. После развёртывания VDI отпала необходимость приобретать мощные персональные компьютеры – теперь пользователи подключаются к виртуальным средам со своих личных или тонких клиентов. Для офиса стало возможным использовать бездисковые системы и недорогие мини-ПК, а удалённые специалисты – даже собственные ноутбуки и планшеты, не уступая в функциональности стационарным рабочим местам. Таким образом, суммарная стоимость владения инфраструктурой снизилась без ущерба для производительности и удобства работы.

Следующим важным эффектом стало сокращение трудозатрат на сопровождение. Ранее техническим специалистам приходилось вручную устанавливать и обновлять программное обеспечение на десятках машин, выполнять диагностику, решать проблемы совместимости и

безопасности. Централизация управления позволила сократить объём рутинных задач, автоматизировать развёртывание и обновление программных пакетов, а также проводить аудит конфигураций в автоматическом режиме. Теперь администратору достаточно обновить образ виртуальной машины, после чего изменения автоматически распространяются на все пользовательские сеансы. Это уменьшает нагрузку на персонал и позволяет ИТ-специалистам сосредоточиться на аналитике, оптимизации и внедрении новых сервисов.

Повышение уровня информационной безопасности стало ещё одним ключевым преимуществом внедрённой архитектуры. Все данные пользователей и приложений хранятся в централизованном контуре, где действует единая система резервного копирования, сетевого мониторинга и контроля доступа. Доступ к ресурсам осуществляется через VPN или корпоративный шлюз, а передача данных защищена шифрованием. В рамках политики безопасности запрещено копирование данных вне виртуального окружения, что минимизирует риск утечек и потери информации. Регулярный мониторинг сетевых соединений и использование межсетевых экранов позволяют оперативно отслеживать подозрительные активности и предотвращать инциденты безопасности.

Внедрение VDI также повысило масштабируемость и управляемость инфраструктуры. Для расширения вычислительных мощностей достаточно добавить новые серверные узлы, настроить репликацию и объединить их в единый кластер. Благодаря использованию шаблонов и контейнеров развёртывание новых рабочих мест сводится к нескольким действиям в интерфейсе управления. При этом сохраняется совместимость с уже существующими сервисами и политиками безопасности. Виртуальные машины и контейнеры, созданные из эталонных образов, обеспечивают единообразие конфигураций, что упрощает аудит и контроль обновлений [2, 3].

Не менее значимым является аспект лицензирования и программного обеспечения. Централизация приложений позволила оптимизировать количество используемых лицензий – теперь лицензия назначается не на каждое физическое устройство, а на виртуальный контур, которым могут пользоваться несколько сотрудников. Это облегчает контроль за использованием лицензий, снижает вероятность нарушения лицензионных соглашений и упрощает финансовое планирование расходов на программное обеспечение.

Использование VDI технологии позволит обеспечить равный доступ к цифровым технологиям, интернету и цифровым навыкам для всех участников, независимо от их экономического, социального или физического доступа, что повышает цифровую инклюзию. В условиях, когда часть сотрудников работает удалённо, а часть имеет ограниченные возможности здоровья, VDI позволяет создавать гибкую и равную среду доступа к корпоративным ресурсам. Это снижает цифровое неравенство и расширяет возможности трудоустройства для социально уязвимых групп населения. Практика показывает, что люди, которые ранее не могли полноценно участвовать в рабочих процессах из-за отсутствия мощного оборудования, теперь имеют такую возможность [7].

Кроме того, необходимо отметить положительное влияние виртуализации на психологическое состояние сотрудников. Благодаря централизации инфраструктуры значительно снижается нагрузка на ИТ-персонал: сокращается число выездов на обслуживание, отпадает необходимость вручную обновлять и поддерживать десятки отдельных рабочих станций. Это снижает уровень профессионального стресса и позволяет специалистам сосредоточиться на более творческих и исследовательских задачах. Для конечных пользователей внедрение VDI означает снижение количества технических проблем и повышение стабильности рабочей среды.

Важным положительным аспектом внедрения VDI является улучшение экологии. Современные исследования показывают, что доля электронных отходов (e-waste) в мире ежегодно растёт. Внедрение VDI позволяет отказаться от массовых закупок дорогостоящего оборудования и перейти на использование маломощных тонких клиентов или даже личных устройств сотрудников. В результате снижается количество выбрасываемых материнских плат, видеокарт и других комплектующих. Централизация вычислительных мощностей на

серверах также обеспечивает более эффективное энергопотребление, снижая углеродный след предприятий.

Следующим направлением междисциплинарного анализа является социальная трансформация рабочих процессов. Переход к виртуальным рабочим столам меняет саму структуру взаимодействия внутри компании: сотрудники могут работать из любой точки мира, а организации становятся более гибкими. Это открывает новые возможности для привлечения специалистов из разных регионов, интеграции молодежи и людей с ограниченными возможностями, а также упрощает международное сотрудничество. В образовательной среде VDI позволяет создавать виртуальные лаборатории, доступные студентам независимо от их технической оснащенности.

Наконец, нельзя не упомянуть долгосрочные перспективы влияния VDI на культуру труда. В условиях, когда удалённая работа становится нормой, виртуализация помогает формировать более гибкие и человеко-ориентированные подходы к организации рабочих мест. Это касается не только бизнеса, но и государственных структур, образовательных учреждений, исследовательских центров. Виртуализация постепенно становится не просто инструментом оптимизации, но и социальным феноменом, меняющим способы взаимодействия людей, формирующим новую цифровую культуру [4].

Однако есть и отрицательные стороны внедрение этой технологии. Самая главная проблема – это снижение отказоустойчивости системы ввиду того, что вся работа сосредоточена на одном сервере. В случае выведения его из строя на некоторое время выйдет из строя вся инфраструктура предприятия, что может привести к убыткам. Для того, чтобы избежать таких действий, необходимо иметь в запасе резервную ноду (узел) и создавать HA-кластер (High Availability) с постоянной репликацией данных, что также увеличивает нагрузку на дисковые системы и процессор, загружает канал связи между серверами и приводит к их износу. Для снижения возможных проблем с пропускной способностью каналов нужно подключать второй, сетевой интерфейс, который будет использовать исключительно для репликации данных.

В команде автора-владельца аппаратной платформы двенадцать человек. Каждый из них имеет доступ к установленному набору виртуальных машин, один из них имеет доступ к дополнительному физическому серверу с подключенным хранилищем на 30 Тб в RAID5, один – имеет доступ к тестовой платформе для организации GameStream – сервиса на базе виртуальных GPU.

Так как проект развивается, то сейчас он находится на второй стадии развития, когда доступ к платформам осуществляется через веб-интерфейс Proxmox (рис. 1) для возможности включения и контроля виртуальных машин, а на сами машины доступ осуществляется по RDP от Microsoft. На виртуальных машинах разделение прав реализовано штатными средствами операционных систем.

В постоянной эксплуатации поддерживается пул виртуальных машин, сгруппированных по назначению (рабочие окружения, сервисные роли и пр.). В составе серверного контура развернут собственный файловый сервис на базе свободного ПО (например, Nextcloud), работающий внутри отдельной ВМ; аппаратный узел размещён во внутреннем сегменте локальной сети. Канал внешнего доступа — широкополосный, со статическим адресным пространством, что упрощает публикацию сервисов и администрирование.

Для удалённого подключения сотрудников и партнёров организован VPN-доступ на маршрутизаторе пограничного уровня с использованием современного протокола туннелирования (например, WireGuard) (рис. 2). Это решение обеспечивает контролируемый вход во внутреннюю сеть и избирательный доступ к необходимым ресурсам.

Сетевая архитектура разработана по принципу разделения доменов доверия и функциональных ролей устройств. На пограничном маршрутизаторе Mikrotik hAP ac² реализовано разграничение сетей: первый физический порт используется как WAN-интерфейс для выхода в интернет, второй и третий формируют внутренний

пользовательский сегмент, а четвёртый и пятый — выделенный производственный контур, предназначенный исключительно для рабочих виртуальных машин.

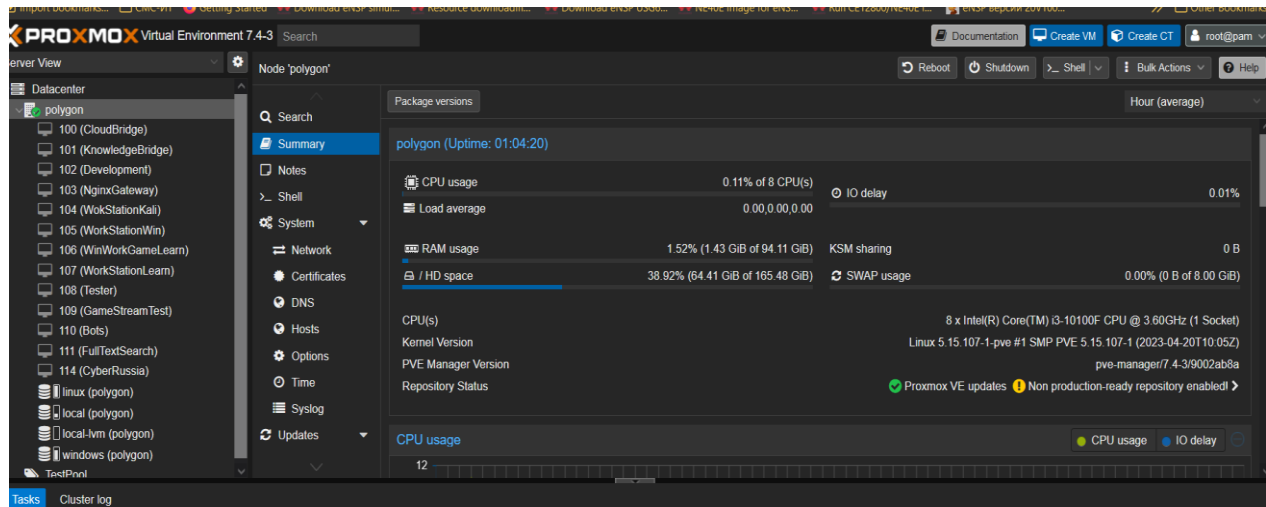


Рис. 1. Веб-интерфейс платформы виртуализации

2 items

		Name	Type	MTU	Actual MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)	FP Tx	FP Rx	FP Tx Packet (p/s)	FP Rx Packet (p/s)
		R	 proxmox-local	WireGuard	1420	1420	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0
		R	 wireguard-work	WireGuard	1420	1420	0 bps	0 bps	0	0	0 bps	0 bps	0

Рис. 2. VPN-подключения по WireGuard

В рамках проекта эти подсети имеют разные адресные пространства и не пересекаются по маршрутам. Для повышения управляемости и безопасности на маршрутизаторе настроены отдельные таблицы маршрутизации и набор правил фильтрации, обеспечивающих независимую обработку трафика пользовательского и сервисного сегментов. В качестве основного средства удалённого доступа выбран WireGuard VPN, который позволяет пользователям подключаться к рабочим машинам из внешних сетей по зашифрованным туннелям с минимальными задержками. На стороне гипервизора Proxmox VE сетевые интерфейсы сгруппированы в логические мосты. Первый физический адаптер (LAN1) подключён к пользовательской сети через виртуальный мост `vmbr0`, обеспечивающий внешний и административный доступ. Второй адаптер (LAN2) связан с производственным контуром и подключён к мосту `vmbr1`, через который взаимодействуют только виртуальные машины рабочей группы Work. Для данного контура не используется служба DHCP и не настроены DNS-резолверы на уровне маршрутизатора, что обеспечивает замкнутость и контролируемый обмен внутри кластера. Подобная топология обеспечивает физическую и логическую изоляцию трафика между пользовательскими, служебными и производственными сегментами. Это снижает вероятность несанкционированного доступа и утечки данных, упрощает аудит сетевых взаимодействий и повышает общую отказоустойчивость системы.

Возникает практический вопрос: как обеспечить приложениям, требующим графического ускорения (OpenGL/OpenCL/CUDA), доступ к GPU-ресурсу в виртуализированной среде. Рассмотрим два архитектурных подхода.

Первый – GPU passthrough. Этот метод предполагает прямое «пробрасывание» видеокарты в виртуальную машину через шину PCIe и гипервизор. В таком режиме устройство полностью резервируется за одной VM и обеспечивает нативную производительность. Однако одновременно использовать одну и ту же карту нескольким VM невозможно: первая, занявшая устройство, блокирует его для остальных, вызывая ошибку запуска (рис. 3).

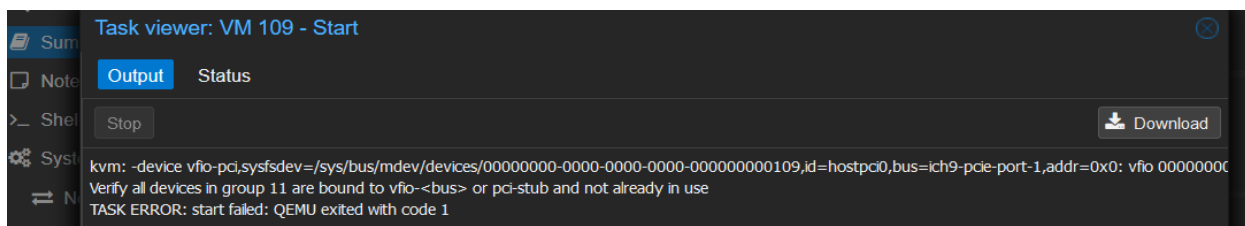


Рис. 3. Ошибка запуска нескольких виртуальных машин при активном GPU passthrough

Одним из обходных вариантов может быть установка дополнительных GPU через PCIe рейзеры или USB-адаптеры, но этот подход резко увеличивает энергопотребление, тепловыделение и стоимость эксплуатации.

Второй – виртуализация GPU. Данный механизм позволяет разделять ресурсы одного физического графического процессора между несколькими виртуальными машинами. Каждая ВМ получает собственный виртуальный GPU-профиль с выделенным объёмом видеопамяти и гарантированной долей вычислительных блоков, а гипервизор управляет распределением нагрузки между ними. Это обеспечивает более эффективное использование оборудования и открывает возможность одновременной работы множества пользователей с ускоренными задачами – от визуализации до расчётов на CUDA и OpenCL.

Главное ограничение классического vGPU-подхода заключается в высокой стоимости профессиональных видеокарт NVIDIA серии Quadro/GRID, требующих подключения к лицензирующему portalу и специализированному программному обеспечению. Стоимость таких решений нередко превышает 200 тысяч рублей за единицу. В рамках исследования автор–владелец платформы на протяжении года готовил и тестировал собственную программную среду для обхода ограничений лицензирования NVIDIA, целью которой было доказать, что пользовательские видеокарты при определённых условиях могут функционировать как профессиональные решения. Для этого был заспуфлен триальный доступ к portalу лицензирования, что позволило получить необходимые драйверы и активировать их без официального ключа на период свыше 90 дней. После этого, при взаимодействии с энтузиастом OpenSource-сообщества, была проведена модификация драйверов, позволившая отключить автоматическую проверку триала и использовать драйвер в стабильном режиме на конкретной версии ядра Proxmox. В результате этих действий была приобретена пользовательская видеокарта NVIDIA GeForce RTX 2060 Dual 12G с 12 ГБ выделенной видеопамяти и чипом архитектуры Turing (TU106). Этот чип идентичен кристаллу профессиональной серии Quadro RTX 6000, различаясь только количеством активных ядер и управляющих инструкций. Проведя несколько дней экспериментов с драйверами, модулями ядра и компонентами Proxmox, авторам удалось заспуфить профиль видеокарты, распознаваемой системой как устройство с поддержкой vGPU-функционала [5, 8]. Результаты работы исследовательской группы приведены на рисунках 4–6.

Перед заключением очень важно выделить несколько ключевых направлений, где технологии виртуализации графических процессоров (vGPU) становятся драйвером цифровой трансформации. Во-первых, это сфера искусственного интеллекта и машинного обучения, где распределение графических ресурсов между множеством процессов позволяет ускорять обучение нейросетей и снижать барьеры для исследовательских центров и университетов. Во-вторых, цифровые двойники промышленных объектов, активно внедряемые в производственных кластерах, требуют высокой точности моделирования в реальном времени, что становится возможным благодаря GPU-ускорению, доступному через виртуализированную инфраструктуру. Третьим направлением выступает сегмент VR/AR, где vGPU обеспечивает серверный рендеринг сложных сцен и позволяет использовать недорогие клиентские устройства в медицине, образовании и промышленном дизайне. Четвёртым трендом становится развитие образовательных технологий (EdTech): виртуальные лаборатории и тренажёры могут быть развёрнуты на сервере и предоставлены студентам без необходимости владеть дорогостоящим оборудованием, что повышает цифровую инклюзию

и доступность современных ИТ-компетенций. Пятым направлением выступает устойчивое развитие: централизация вычислительных мощностей позволяет уменьшать энергопотребление, оптимизировать утилизацию оборудования и снижать объём электронных отходов, что соответствует глобальным экологическим приоритетам. Нужно сказать, что каждое из этих направлений связано с задачами управления изменениями – от перестройки бизнес-процессов и оптимизации ИТ-инфраструктуры до формирования новой корпоративной культуры, основанной на гибкости, инновационности и технологической независимости.

```

root@polygon:~# nvidia-smi
Fri Apr 28 15:09:04 2023

+-----+
| NVIDIA-SMI 525.85.07      Driver Version: 525.85.07      CUDA Version: N/A      |
+-----+-----+
| GPU   Name               Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf    Pwr:Usage/Cap|      Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
|=====+=====+
|  0   NVIDIA GeForce ...   On         | 00000000:01:00.0 Off  |          N/A         |
| 41%   41C   P8     19W / 184W | 92MiB / 12288MiB |      0%      Default  |
|                               |                      | N/A          |
+-----+-----+

Processes:
GPU   GI    CI          PID    Type    Process name                      GPU Memory
ID   ID    ID
=====+=====+
No running processes found

```

Рис. 4. Определение графического процессора в системе

```

Description: num_heads=1, frr_config=60, framebuffer=3072M, max_resolution=1280x102
4, max_instance=8
nvidia-440
Available instances: 6
Device API: vfio-pci
Name: GRID RTX6000-4A
Description: num_heads=1, frr_config=60, framebuffer=4096M, max_resolution=1280x102
4, max_instance=6

```

Рис. 5. Определение виртуального профиля видеокарты

```

24, max_instance=1
root@polygon:~# nvidia-smi vgpu
Fri Apr 28 15:11:13 2023

+-----+
| NVIDIA-SMI 525.85.07      Driver Version: 525.85.07      |
+-----+-----+
| GPU   Name               | Bus-Id        | GPU-Util  |
| vGPU ID    Name          | VM ID         | vGPU-Util  |
+-----+-----+
|  0   NVIDIA GeForce RTX 2060 | 00000000:01:00.0 |      0%      |
+-----+-----+
root@polygon:~#

```

Рис. 6. Фактическое определение видеокарты и загрузка vGPU-драйвера

Полученные в ходе работы результаты обладают высокой практической значимостью и могут быть масштабированы для использования в различных отраслях — от информационных технологий и финансов до транспорта, образования и научных исследований. Концепция виртуализации графических процессоров демонстрирует универсальность и применимость в самых разных сценариях: от инженерных расчётов и моделирования до организации виртуальных лабораторий и облачных сервисов. Примечательно, что именно на базе технологий vGPU формируются крупные вычислительные кластеры для работы с нейронными сетями и системами искусственного интеллекта. В качестве примера можно привести платформу Paperspace, предоставляющую пользователям удалённый доступ к GPU-ускоренным VPS-инстансам.

В заключение следует отметить, что внедрение технологий VDI и vGPU не только оптимизирует управление корпоративной ИТ-инфраструктурой и снижает издержки, но и выполняет социально–управленческую функцию. Централизация вычислительных ресурсов и гибкие модели удалённого доступа способствуют цифровой инклюзии, обеспечивая равные возможности для сотрудников и студентов независимо от их технических условий. Кроме того, переход к централизованной инфраструктуре способствует снижению количества электронных отходов, улучшению энергоэффективности и формированию экологически устойчивого цифрового пространства.

Работа над проектом продолжается: в планах команды – реализация полноценного брокера соединений, создание системы репликации данных на резервный сервер и проведение дальнейших экспериментов по интеграции GPU-виртуализации в инфраструктуры разработки нейросетей и искусственного интеллекта. Отдельное направление будущих исследований связано с применением vGPU-технологий для задач майнинга, обработки изображений и анализа хешей в распределённых вычислительных и blockchain-системах. Полученные результаты позволяют утверждать, что виртуализация графических процессоров постепенно превращается из инструмента оптимизации в стратегический элемент цифровой трансформации и устойчивого развития.

Список использованных источников

1. Younge A., von Laszewski G., Wang L., Lopez–Alarcon S., Carithers W. Efficient resource management for cloud computing environments // International Conference on Green Computing. 2010. Pp. 357–364.
2. Sotomayor B., Montero R., Llorente I., Foster I. Virtual infrastructure management in private and hybrid clouds // IEEE Internet Computing. 2009. V. 13(5). Pp. 14–22.
3. Singh A., Korupolu M., Mohapatra D. Server–storage virtualization: Integration and load balancing in data centers // IEEE/ACM International Conference on Supercomputing. 2008. Pp. 335–344.
4. Baskaran R., Kannan P. A survey on Virtual Desktop Infrastructure and its challenges // International Journal of Computer Applications. 2013. V. 66(23). Pp. 1–6.
5. Danilov D., Pape A., GPU VIRTUALIZATION ON CUSTOM GRAPHICS CARDS // 62nd PSUTI Student Scientific Conference 2023. V. 1(1). Pp. 92–93.
6. Citrix Systems. Virtual desktop infrastructure: design guide. – Citrix White Paper. 2020. 32 p.
7. Zhang Q., Cheng L., Boutaba R. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges // Journal of Internet Services and Applications. 2010. V. 1(1). Pp. 7–18.
8. Proxmox VE Documentation. Official docs. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pve.proxmox.com/> (дата обращения: 06.09.2025).

УДК 521.35

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И МАССОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАНЁВРА ГОМАНА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ЗА СЧЁТ ЭНЕРГИИ ВРАЩЕНИЯ

Екимовская А.А. (студент, Благотворительный фонд «Образование+», МАИ)

Научный руководитель: д.т.н., с.н.с. Лебедев В.В. (БФ «Образование+»)

e-mail: any_ekimovskaya03@mail.ru

Современный этап развития космической техники характеризуется применением как традиционных тяжёлых орбитальных средств, так и развитием новых малых космических аппаратов. При этом на малые конструкции часто переносят принципы проектирования, заложенные почти век назад. В статье обсуждается вопрос альтернативы энергии ракетного топлива другим видом энергии. Предлагается выполнить орбитальное маневрирование запасом механической энергии. Новизна работы заключается в изучении вращающейся системы космических аппаратов в форме треугольника.

Ключевые слова: орбитальный манёвр, космический аппарат, орбита, манёвр Гомана, малый космический аппарат, вращение, энергия вращения, полезная нагрузка.

Введение

Цель работы заключается в использовании механической энергии вращающегося тела для сообщения малым КА скоростей, необходимых для выполнения того или иного орбитального манёвра или частей такого манёвра. В работе изучается и обосновывается возможность сообщения малому КА двух дополнительных скоростей в двух заданных точках орбиты, как этого требуют два импульса в манёвре Гомана [1]. Для достижения этой цели требуется решить первую техническую задачу эскизного проектирования - предложить общую схему вращающегося космического аппарата (КА), способного совершить орбитальный манёвр Гомана, то есть выполнить двухимпульсный переход с одной круговой орбиты на другую. Сформулированные цель и задача исследования актуальны вследствие масштабного внедрения в практику малых космических аппаратов. В предлагаемой работе продолжается обоснование и приводится теоретическое доказательство возможности орбитального маневрирования только за счёт энергии вращения КА. При этом новизна работы заключается в предложении общей схемы вращающейся системы в виде трёх отсеков с размещением в вершинах равнобедренного треугольника, связанных стержнями или тросами.

В практике проектирования космических аппаратов (КА) наблюдается устойчивая тенденция появления новых орбитальных средств в виде малых КА. Если в прошлом веке специалисты в области космической техники обсуждали выведение на околоземные орбиты единичных конструкций, то теперь налажено производство десятков, сотен и даже тысяч типовых малых КА. Такая же ситуация характерна для целевых задач КА. Если раньше на один орбитальный образец возлагался комплекс решаемых задач, то в настоящее время оказывается проще изготовить и вывести на орбиты несколько небольших конструкций с различным назначением. То же самое можно утверждать об унификации создаваемых образцов. Если полвека назад каждый КА создавался как уникальный образец техники, то теперь налажена работа поточного конвейера изготовления унифицированных платформ для размещения на них различного типа оборудования для радиосвязи, управления, научных наблюдений, дистанционного зондирования поверхности Земли, учебного оборудования, космических экспериментов и т.д. Таким образом, создание и расширение орбитальной группировки малых КА принципиально изменило правила проектирования новой космической техники.

Изменение принципов проектирования новых конструкций КА происходит в строгом соответствии с законами природы, в частности, с законом сохранения энергии. В связи с этим в настоящее время, как и прежде, актуальным остаётся вопрос об источниках энергии для орбитальных средств. Особенность малых КА заключается в очень сильных ограничениях по габаритам, форме и массе конструкции. При таких ограничениях не может быть речи о применении на малых КА традиционных ракетных двигателей различного типа: жидкостных,

твёрдотопливных, на сжатых газах, ядерных, электрических. Без таких двигателей получается, что малый КА может находиться только на определённой, строго заданной орбите, на которую выведен ракетой-носителем. Не представляется возможным даже удалить отработавший свой срок малый КА с орбиты, что приводит к постоянному увеличению численности космического мусора.

В изменившихся принципах проектирования малых КА, по сравнению с традиционными орбитальными средствами, актуальной стала задача поиска новых способов запаса и хранения энергии в небольшой по габаритам конструкции. Объектом изучения в этой работе являются малые конструкции, хотя предлагаемые технические решения могут быть применены для традиционных больших платформ. Малые КА изучаются на предмет запаса характеристической скорости, которая необходима для изменения параметров орбиты. Прежде всего, интерес вызывает манёвр Гомана, потому что с его помощью выполняется большинство орбитальных переходов КА с одной круговой орбиты на другую, а также возвращение конструкции на Землю по траектории переходного эллипса [1].

Принцип использования механической энергии для изменения траектории движения тела известен с древности. Если проследить историю развития боевого оружия, то механическая энергия очень долго применялась до появления мушкетов, пицалей, ружей [2], пистолетов, пушек и т.д. Примером использования механической энергии в боевых орудиях и в качестве орудия охоты является лук и стрелы. В этом орудии энергия запасается в виде энергии упругой деформированной системы лука с тетивой, потом передаётся стреле. Таким образом, траектория движения стрелы в неподвижной земной системе координат изменяется от точки первоначального покоя до кривой линии, которую приближённо можно считать параболой, если поле тяготения предположить однородным. Механическую энергию в виде энергии упруго деформированной системы применяли в различных метательных машинах, в том числе в осадных орудиях. Однако для космических аппаратов использование энергии упруго деформированной системы затруднительно, по двум причинам. Во-первых, требуется большая деформация упругой системы, но габариты конструкции ограничены. Во-вторых, большие усилия в деформированной системе требуют громоздких и тяжёлых деталей, но орбитальная конструкция должна быть как можно более лёгкой. Значит, для применения в малых КА надо искать другой вид механической энергии. Такой вид существует, он связан с вращением твёрдого тела. По теореме Кёнига общая механическая энергия системы складывается из кинетической энергии поступательного движения центра и кинетической энергии вращательного движения относительно центра масс системы. Для изменения орбиты КА, в основном, учитывают и применяют на практике кинетическую энергию поступательного движения центра масс системы, забывая о вращении тела. Однако с древних времён известно боевое орудие и орудие охоты в виде пращи [2]. Камень, раскрученный на верёвке, обладает кинетической энергией вращательного движения. Эта энергия сохраняется, когда охотник или воин отпускает камень с вращающейся верёвки, например, просто отпуская один конец верёвки. При этом кинетическая энергия вращательного движения камня переходит в кинетическую энергию поступательного движения этого камня. В результате камень приобретает скорость, которую можно определить по закону сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{J\omega^2}{2}; \quad v = \omega \sqrt{\frac{J}{m}}.$$

В этой формуле m – масса камня, J – момент инерции камня относительно центра вращения пращи, ω – угловая скорость вращения пращи, v – скорость камня после отпускания с пращи.

Приближённо скорость камня v после отпускания с пращи можно рассчитать по формуле взаимосвязи линейной и угловой скоростей:

$$v = \omega R,$$

где R – радиус пращи.

Метод пращи сообщения телу дополнительной скорости вполне можно применить для космических аппаратов. В этом методе для малых КА привлекательным является пропорциональность скорости v угловой скорости ω предварительной раскрутки системы, а для больших орбитальных конструкций пропорциональность скорости v радиусу R раскрутки. Например, для больших орбитальных систем при радиусе раскрутки 100 метров достаточно угловой скорости 1 рад/с, чтобы получить линейную скорость 100 м/с, вполне достаточную для возвращения КА на Землю с низкой околоземной орбиты [1]. Для малых КА, например, с характерным радиусом раскрутки 1 метр, такую величину скорости можно получить при угловой скорости 100 рад/с, то есть приблизительно 16 оборотов в секунду, что вполне реализуемо при современном уровне развития техники.

Если применить метод пращи для маневрирования на орбитах, то очередной задачей становится выбор общей схемы, конфигурации вращающейся системы. Так как предметом исследования в этой работе является манёвр Гомана, то требуются два приращения скорости. Значит, вращающаяся система должна содержать в своём составе два аналога пращи и предусмотреть два сброса отдельных модулей. Это означает, что вращающаяся система должна состоять, как минимум, из трёх вращающихся тел, то есть иметь вид треугольника.

Появилась задача согласования баллистических требований с геометрическими характеристиками малого КА.

Баллистические требования к вращающейся системе КА

Для определённости будем предполагать, что вращающаяся космическая система должна совершить восходящий манёвр Гомана. Это означает, что первоначально вращающаяся система из трёх малых КА движется по круговой орбите с высотой h_1 над поверхностью Земли. При этом удаление центра масс вращающейся системы от центра Земли равно $r_1 = R_3 + h_1$, где предполагается средний радиус Земли $R_3 = 6371,210$ км. Для достижения цели работы требуется перевести один из модулей системы малых КА на более высокую круговую орбиту с высотой $h_2 > h_1$ над поверхностью Земли, то есть с радиусом орбиты от центра тяготения Земли $r_2 = R_3 + h_2$. Орбитальный переход между круговыми орбитами выполняется по двухимпульсной схеме, то есть по схеме Гомана [1]. Расчётная схема орбитального перехода Гомана показана на рисунке 1.

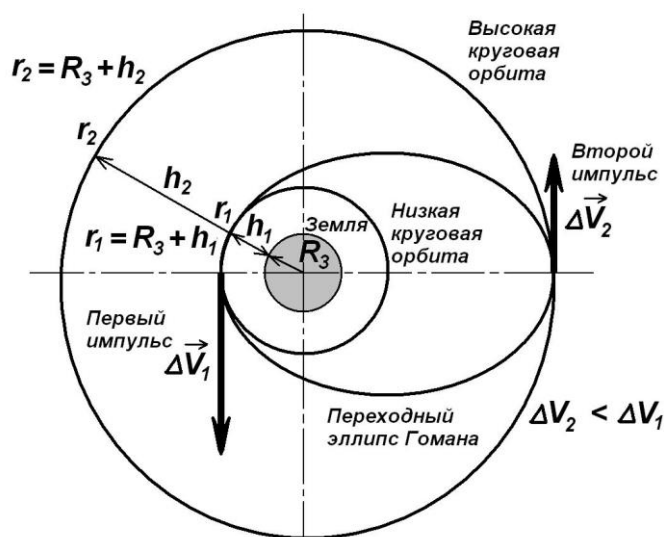


Рис. 1. Схема двухимпульсного орбитального перехода Гомана

На низкой круговой орбите в заданной точке КА должен получить дополнительную разгонную скорость $\vec{V}_1$. Эта точка считается перигеем. Разгонный импульс в перигее увеличивает апогей орбиты, КА начинает двигаться по переходной эллиптической траектории Гомана. Достаточно выполнить движение по одной половине эллипса, чтобы КА достиг

апогея. Но можно совершить несколько оборотов вокруг Земли по эллиптической траектории. Принципиальным является второй разгонный импульс $\vec{V}_2$ в апогее. Разгонный импульс в апогее увеличивает перигей, это увеличение должно быть таким, чтобы новая орбита стала круговой, радиус новой орбиты равен апогейному удалению от центра Земли.

Важным фактом для последующих расчётов является уменьшение требуемой величины добавочной скорости ΔV_2 при втором импульсе по сравнению с добавочной скоростью ΔV_1 при первом импульсе, то есть выполнение неравенства $\Delta V_2 < \Delta V_1$. Это является следствием интеграла энергии, потому что с увеличением удалённости от центра тяготения гравитационное действие Земли становится слабее.

В Техническом задании для малых КА определены требования по высотам орбит над поверхностью Земли. Это означает, что для заданных радиусов $r_1 = R_3 + h_1$ и $r_2 = R_3 + h_2$ начальной и конечной круговых орбит соответственно надо выполнить два увеличения скорости КА в указанных ранее точках. Величины дополнительных разгонных скоростей зависят от круговой скорости V_1 на первой круговой орбите и отношения $k = \frac{r_2}{r_1}$ радиуса второй круговой орбиты к радиусу первой круговой орбиты.

Величина круговой скорости V_1 зависит от радиуса $r_1 = R_3 + h_1$ этой орбиты и вычисляется по формуле [1]: $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$. Гравитационный параметр Земли равен [1]:

$$\mu_3 = 398600 \text{ км}^3/\text{с}^2.$$

С учётом принятых обозначений величины ΔV_1 и ΔV_2 дополнительных разгонных скоростей в двухимпульсном манёвре Гоман вычисляются по формулам [1]:

$$\Delta V_1 = V_1 \left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1 \right); \quad \Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right).$$

Для последующих расчётов важно знать отношение этих двух значений дополнительных разгонных скоростей, для определённости обозначим его символом:

$$n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{V_1 \left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1 \right)}{V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)} = \frac{\sqrt{k} (\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}.$$

Указанные приращения скоростей являются линейными скоростями ΔV_1 и ΔV_2 вращения соответствующих точек в единой вращающейся космической системе малых КА. Из этого следует, что баллистические требования к вращающейся системе малых КА надо согласовать с геометрическим проектированием корпуса. Целью этой работы является исследование варианта треугольной вращающейся системы, состоящей из трёх модулей в виде малых КА, которые могут отделяться при разрыве соединительных связей – тросов или штанг.

Вывод по баллистическим требованиям к вращающейся системе.

Таким образом, баллистические требования к вращающейся системе из трёх малых КА сводятся к обеспечению двух линейных скоростей вращения. Во-первых, центр масс первой, оставшейся после отделения первого модуля, связки из второго и третьего малого КА должен иметь линейную скорость от вращения системы, равную первой величине дополнительной

скорости в манёвре Гомана, то есть $\Delta V_1 = V_1 \left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1 \right)$. Во-вторых, третий, конечный модуль

малого КА на высокой круговой орбите, должен иметь линейную скорость вращения в связке со вторым модулем до его отделения, равную второй величине дополнительной скорости в

манёвре Гомана, то есть $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)$.

Геометрические требования к вращающейся системе КА

Начальное состояние вращающейся системы на низкой круговой орбите.

При начале исследования есть смысл изучить самый простой вариант треугольной вращающейся системы в виде равнобедренного треугольника, в вершинах которого расположены отделяемые модули в виде малых КА. В расчётной схеме первоначально эти модули предполагаются точечными массами. На рисунке 2 представлена общая геометрическая компоновочная схема вращающейся системы малых КА в начальном состоянии, то есть на низкой круговой орбите радиусом $r_1 = R_3 + h_1$.

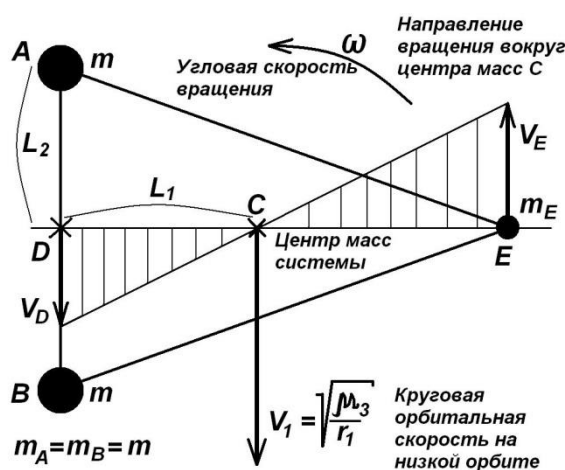


Рис. 2. Начальное состояние вращающейся системы малых КА

Система имеет конфигурацию равнобедренного треугольника ABE , в котором боковые стороны равны $AE = BE$. В вершинах равнобедренного треугольника ABE размещены три модуля в виде малых КА. При этом в вершинах A и B размещены одинаковые по массе модули, то есть $m_A = m_B = m$. В вершине E размещён модуль другой массы m_E . Точка D на основании равнобедренного треугольника ABE является серединой основания AB , то есть центром масс двух модулей с одинаковыми массами m_A и m_B . Точка C на высоте, биссектрисе и медиане ED является общим центром масс всей системы, то есть трёх точечных масс m_A , m_B , m_E . Три модуля в виде малых КА в точках A , B , E связаны в единую конструкцию либо жёсткими связями в виде стержней AE , BE , AB , либо в виде тросов, которые во время вращения натягиваются для сохранения треугольной конфигурации.

Для дальнейшего исследования важно определить расстояния CD и AD , а также более свободное с конструкторской точки зрения расстояние CE .

Такая треугольная система малых КА выводится на круговую околоземную орбиту радиусом $r_1 = R_3 + h_1$, поэтому центр масс системы C будет иметь соответствующую этому

радиусу круговую скорость $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$, на рисунке 2 вектор этой скорости направлен вниз.

Либо на Земле под обтекатель РН перед стартом, либо на орбите за счёт солнечной энергии и электродвигателей, но в этом случае нужны две одинаковые треугольные системы

жёстко прикрепляемые к статору и ротору, система раскручивается до требуемой угловой скорости ω , значение которой надо будет рассчитать из условий совершения заданного манёвра Гомана. На рис.2 направление вращения системы показано стрелкой в верхней части схемы. После раскрутки системы точка E и размещённый в ней малый КА массой m_E приобретут линейную скорость $V_E = \omega \cdot CE$. Точка D , то есть середина отрезка AB , после раскрутки приобретёт линейную скорость $V_D = \omega \cdot CD = \omega \cdot L_1$.

В предлагаемой схеме не имеет значения, в какой плоскости происходит раскрутка треугольной системы. Это может быть не только плоскость местного горизонта, но и вертикальная плоскость или наклонная плоскость. Для системы управления важным является только требование постоянно определять направление круговой скорости $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$ и одновременно обрывать связи AE и BE в тот момент времени, когда скорость $V_D = \omega \cdot CD = \omega \cdot L_1$ точки D сонаправлена с круговой скоростью $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$, при этом скорость точки E будет, наоборот, противонаправлена круговой скорости.

На рис.2 показана эпюра линейных скоростей вращающейся системы для отрезка DE . Такое распределение скоростей соответствует гипотезе абсолютно твёрдого вращающегося тела. Все точки треугольника ABE вращаются с одной и той же угловой скоростью ω , но линейные скорости точек твёрдого тела различны.

Первый разрыв связи.

Для получения первой дополнительной разгонной скорости в манёвре Гомана надо разорвать связи AE и BE для освобождения точечной массы m_E . На рисунке 2 показан вариант, пригодный для тросовой системы. В случае жёстких стержневых связей достаточно иметь в конструкции один стержень DE вместо двух тросов AE и BE . На рисунке 3 показан вариант прежней треугольной конфигурации вращающейся системы малых КА, но с жёсткими стержневыми связями. При использовании жёстких стержневых связей расчётная кинематическая схема остаётся прежней. Отличием является новый конструкционный элемент в виде прямолинейного жёсткого стержня DE . Точка D , как и прежде, является серединой отрезка AB , а в точке E крепится точечная масса m_E первого отделяемого малого КА. Вторым отличительным признаком, по сравнению с первой схемой, является жёсткая связь AB в виде соответствующего стержня. Если в первом варианте связи AE , BE , AB могли быть тросовыми, то есть гибкими и натянутыми за счёт вращения треугольной системы, то во второй конструкции для сохранения треугольной конфигурации требуются только жёсткие стержни. Но в обоих вариантах предполагается последующий разрыв связей между модулями, гибких или жёстких.

Разрыв связи любого типа происходит в момент времени, когда скорость $V_D = \omega \cdot CD = \omega \cdot L_1$ точки D сонаправлена с круговой скоростью $V_1 = \sqrt{\frac{\mu_3}{r_1}}$. Значит точка D получит дополнительный разгонный импульс с дополнительной положительной скоростью ΔV_1 , который переведёт её на орбиту переходного эллипса Гомана. Одновременно точка E получит тормозной импульс, который пока не представляет интереса, но далее его надо будет определить, чтобы рассчитать параметры орбиты массы m_E , оставшегося на орбите или возвращающегося на Землю, или сгорающего в атмосфере Земли малого КА, от которого оттолкнулись два других КА, расположенных в точках A и B и продолжающих вращаться с прежней угловой скоростью ω , но теперь вокруг точки D как нового центра масс новой системы из двух малых КА. На рисунок 4 показано состояние системы после первого разрыва связей, то есть освобождения и исключения массы m_E из рассмотрения и дальнейшего

маневрирования по схеме Гомана. В таком состоянии два вращающихся малых КА движутся по переходному эллипсу Гомана.

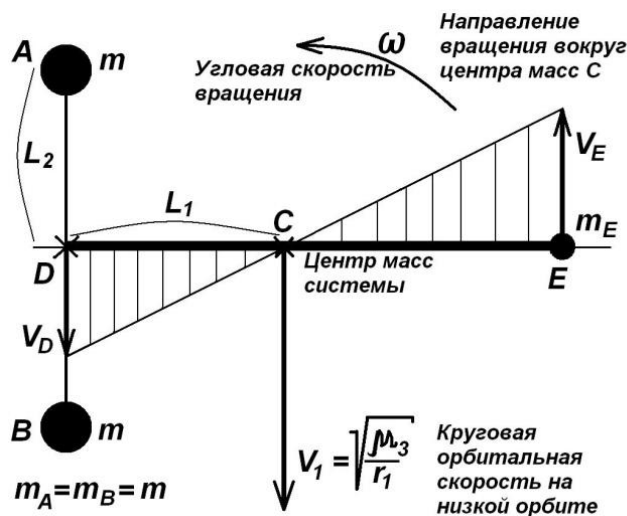


Рис. 3. Вариант вращающейся системы с жёсткими стержневыми связями

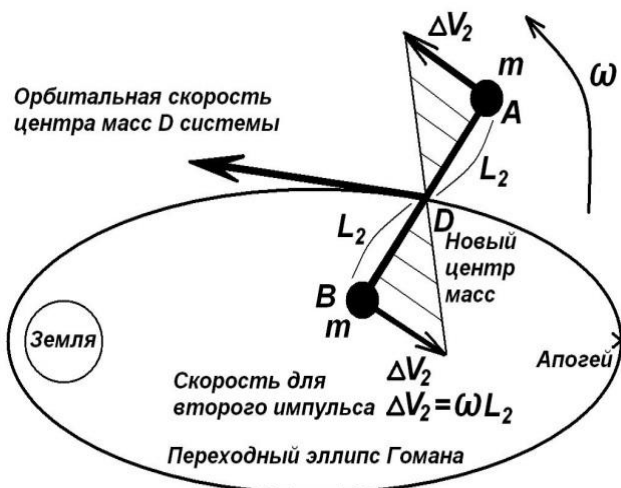


Рис. 4. Состояние системы после первого разрыва связей

В новом состоянии система из двух малых КА вращается, поэтому обладает запасом кинетической энергии вращения, которая будет использована для второго разгонного импульса в манёвре Гомана. Будем предполагать, что на высокую круговую орбиту требуется вывести малый КА, расположенный в точке A . Величина добавочной разгонной скорости при втором импульсе равна линейной скорости движения точки A , то есть $\Delta V_2 = \omega \cdot AD = \omega \cdot L_2$. Другой груз, расположенный в точке B , по сути является массой, от которой происходит отталкивание груза в точке A . Он получает такую же дополнительную скорость, но только отрицательную, тормозную, поэтому переходит на орбиту с тем же перигеем, что и переходный эллипс Гомана, но более низким апогеем, потому что величина второго разгонного импульса меньше величины первого разгонного импульса согласно интегралу энергии. Груз в точке B после разрыва связи AB дальнейшем маневрировании не участвует.

В результате имеем новую систему из двух КА с одинаковыми массами m , которые вращаются вокруг точки D с прежней угловой скоростью ω , но эта точка D , то есть центр масс новой системы, движется по траектории переходного эллипса Гомана.

Второй разрыв связи.

Второй разгонный импульс $\Delta V_2 = \omega \cdot AD = \omega \cdot L_2$ в межорбитальном манёвре Гомана происходит в точке апогея переходной эллиптической траектории. Будем предполагать, что

на высокую круговую орбиту радиуса $r_2 = R_3 + h_2$ выводится модуль, расположенный в точке A . Значит, разрыв связи АВ должен произойти в точке апогея, когда вращающаяся система будет ориентирована так, что вектор скорости точки A будет сонаправлен вектору орбитальной скорости точки D . При этом вектор скорости точки B будет противоположен вектору орбитальной скорости точки D . Так как модуль КА в точке A получит разгонный импульс в апогее, то увеличится высота перигея, поэтому величина добавочной скорости должна быть равна $\Delta V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)$. Модуль КА в точке B , напротив, получит

тормозной импульс, такой же по величине, поэтому уменьшит величину перигея по сравнению с переходной эллиптической орбитой Гомана, но этот груз не является предметом изучения, он служит только иллюстрацией массы, от которой отталкивается разгоняемый модуль. Эллиптическая орбита заторможенного груза может оказаться с таким низким перигеем, что этот модуль малого КА войдёт в атмосферу Земли, затормозится и вернётся на Землю или сгорит в атмосфере. Получается, что для предлагаемой треугольной вращающейся космической системы с тремя модулями малых КА реальным становится удаление из околоземного космического пространства двух блоков, что соответствует требованиям по снижению группировки космического мусора [3, 4].

На рисунке 5 показана схема конечного состояния вращающейся треугольной космической системы, то есть движения одного модуля из системы малых КА, расположенного ранее в точке A , по высокой круговой орбите.

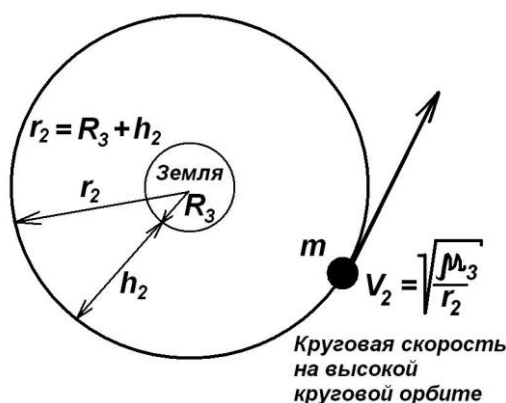


Рис. 5. Конечное состояние вращающейся системы малых КА

Таким образом, цель работы достигнута. Один из трёх малых КА во вращающейся треугольной системе перешёл с низкой круговой орбиты на высокую круговую орбиту с помощью двухимпульсного манёвра Гомана. Осталось завершить геометрический расчёт исходных характеристик, то есть размеров, вращающейся треугольной системы из трёх малых КА, расположенных в вершинах равнобедренного треугольника.

Завершение геометрического расчёта исходной вращающейся системы.

Обобщение полученных геометрических и баллистических данных приведено на рисунке 6.

Ранее, при баллистических расчётах, было показано, что отношение величин дополнительных скоростей в первом и втором импульсах манёвра Гомана равно

$$n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{V_1 \left(\sqrt{\frac{2k}{k+1}} - 1 \right)}{V_1 \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \sqrt{\frac{2}{k+1}} \right)} = \frac{\sqrt{k} (\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}.$$

Геометрические и механические расчёты кинематики вращающегося абсолютно твёрдого тела показывают, что отношение этих же дополнительных величин скоростей равно $n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{\omega \cdot L_1}{\omega \cdot L_2} = \frac{L_1}{L_2}$, причём не зависит от радиуса $r_1 = R_3 + h_1$ начальной круговой орбиты.

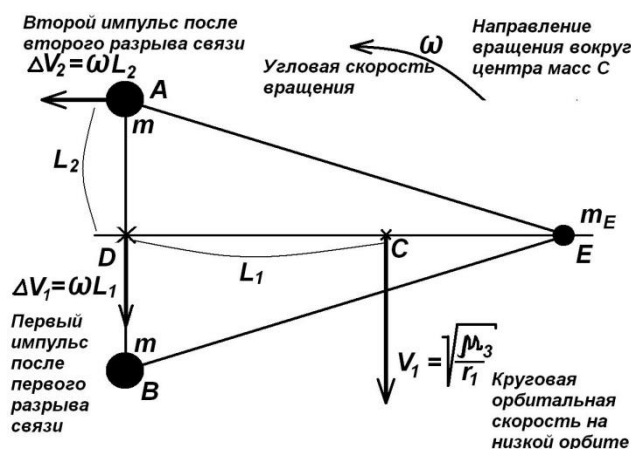


Рис. 6. Обобщение и согласование геометрических и баллистических данных

Следовательно, после приравнивания правых частей двух полученных формул записываем выражение для отношения двух расстояний:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{k}(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}.$$

Это отношение определяется только отношением $k = \frac{r_2}{r_1}$ радиусов конечной и начальной

круговых орбит. Иными словами, расстояния L_1 и L_2 полностью определяют отношение $k = \frac{r_2}{r_1}$

радиусов конечной и начальной круговых орбит при орбитальном манёвре Гомана. В этом заключается главный геометрический смысл эскизного проектирования треугольной вращающейся системы малых КА.

Таким образом, зная начальную и конечную круговые орбиты из Технического задания, сразу можно определить геометрическую конфигурацию вращающейся треугольной системы малых КА с точностью до преобразования подобия.

Анализ массовых характеристик вращающейся системы малых КА

Массовые характеристики определяют эффективность применения космических средств. Особенно важным является отношение массы полезной нагрузки к массе исходной конструкции. Например, для современных РН при старте с поверхности Земли и доставке на низкую околоземную орбиту 200–400 км эта величина приблизительно равна 0,05, то есть составляет 5% от исходной массы. В случае космической орбитальной системы манёвр Гомана начинается не с поверхности Земли, а с низкой круговой орбиты, поэтому нет смысла сравнивать по этому показателю эффективность системы маневрирования с системой выведения в космос. Но при этом важно знать, как распределение массы между тремя малыми КА во вращающейся треугольной системе влияет на конечную массу конструкции, то есть на конечную массу малого КА, переведённого манёвром Гомана на высокую круговую орбиту.

Для расчёта массовых характеристик системы нужно применить формулу для расчёта координат центра масс системы материальных точек. Математически это означает применение формул для исследования деления отрезка в заданном отношении, определяемом массами материальных точек.

На рисунке 7 показана расчётная схема для решения этой задачи.

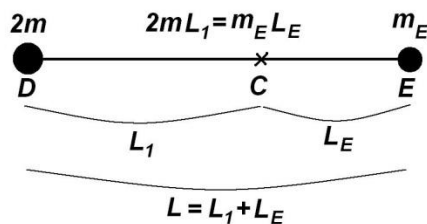


Рис. 7. Расчётная схема для анализа массовых характеристик

Положение центра масс C системы из трёх грузов определяется формулой $2mL_1 = m_E L_E$. Предполагается, что в левой части рисунка находятся два одинаковых груза массой m каждый, а в правой части расположен один груз массой m_E . Тогда конечная масса системы, то есть одного груза, на высокой круговой орбите будет равна $m = \frac{m_E L_E}{2L_1}$. Общая начальная масса системы равна $2m + m_E$. Значит, массовую эффективность вращающейся системы при маневрировании можно оценить отношением

$$\frac{m}{2m + m_E} = \frac{\frac{m_E L_E}{2L_1}}{2 \frac{m_E L_E}{2L_1} + m_E} = \frac{m_E \frac{L_E}{2L_1}}{m_E \left(\frac{L_E}{L_1} + 1 \right)} = \frac{\frac{L_E}{2L_1}}{\frac{L_E}{L_1} + 1} = \frac{L_E}{2(L_E + L_1)}.$$

Обозначим $x = \frac{L_E}{L_1}$. Тогда получим функцию для исследования $f(x) = \frac{x}{2(x+1)}$. На

рисунке 8 показан график этой функции, построенный с помощью программы-графопостроителя. График функции имеет горизонтальную асимптоту

$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{x}{2(x+1)} = \frac{1}{2} = 0,5$. Значит, предельное значение выбранного показателя

качества равно 0,5, то есть 50%. Это означает, что в принципе в результате манёвра Гомана с низкой круговой орбиты на высокую круговую орбиту можно перевести до 50% от начальной массы вращающейся космической системы малых КА только за счёт запасённой кинетической энергии вращения системы, без использования химического топлива и ракетных двигателей. Такая асимптотика, то есть предельный, не достижимый случай соответствует сильно вытянутой треугольной системе, когда груз m_E можно сделать бесконечно малым, но далеко удалённым от двух грузов m . Начальная массы системы в этом случае приблизительно равна $2m$, а конечная масса равна m , то есть массовая эффективность приближается к значению 50%.

Анализ полученной зависимости показателя массовой эффективности манёвра Гомана показывает, что первый груз массой m_E надо удалять как можно дальше, то есть вытягивать треугольную систему малых КА, делая равнобедренный треугольник как можно более вытянутым. В реальных условиях даже при отношении $x=2$ показатель качества равен $f(x)=0,333$, то есть 1/3 начальной массы перейдёт с низкой круговой орбиты на высокую.

Таким же способом можно перейти к анализу высоты L равнобедренного треугольника. Так как $L = L_1 + L_E$, то $L_E = L - L_1$, поэтому получаем соотношение

$$\frac{m}{2m + m_E} = \frac{L_E}{2(L_E + L_1)} = \frac{L - L_1}{2L} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_1}{L} \right).$$

Обозначим отношение указанных длин символом $\frac{L_1}{L} = y$. Тогда прежняя целевая функция массовой эффективности принимает линейный вид

$f(y) = \frac{m}{2m + m_E} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{L_1}{L} \right) = \frac{1}{2} (1 - y)$. Получен тот же самый результат, то есть наибольшая массовая эффективность достигается при малых, стремящихся к нулю значениях y , то есть при вытянутом равнобедренном треугольнике. Нулевое значение исключается из рассмотрения, при нём система перестаёт быть треугольной, нельзя будет выполнить первый импульс в манёвре Гомана.

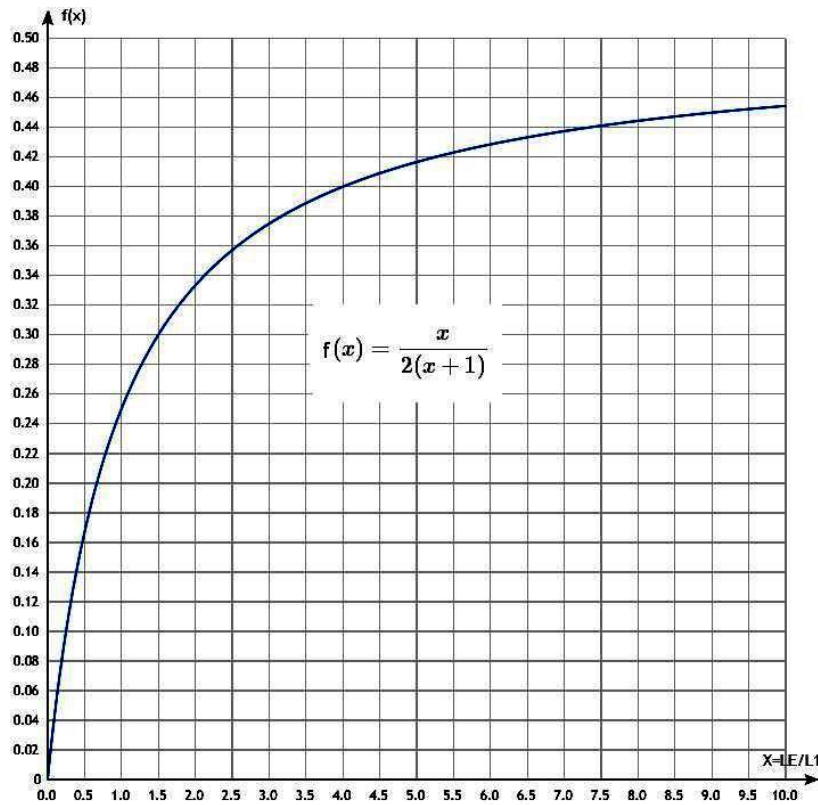


Рис. 8. Отношение конечной массы системы к начальной массе

Второй геометрический размер L_2 никак не зависит от первого отрезка L_1 , поэтому конструктор выбирает его из баллистических требований, потому что отношение

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{k}(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}}$$

определяется только отношением радиусов конечной и начальной

круговых орбит $k = \frac{r_2}{r_1}$ в манёвре Гомана. На рисунок 9 показан график зависимости

$$n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{k}(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}},$$

построенный с помощью графопостроителя. По

вертикальной оси отложено отношение расстояний $\frac{L_1}{L_2}$, которое равно отношению разгонных

скоростей в манёвре Гомана $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$, как функция отношения радиусов круговых орбит $k = \frac{r_2}{r_1}$.

Таким образом, массовая эффективность применения вращающейся космической системы малых КА реально позволяет перевести с низкой круговой орбиты на высокую до 50% полезной нагрузки только за счёт запаса кинетической энергии вращения без использования химического топлива и ракетных двигателей.

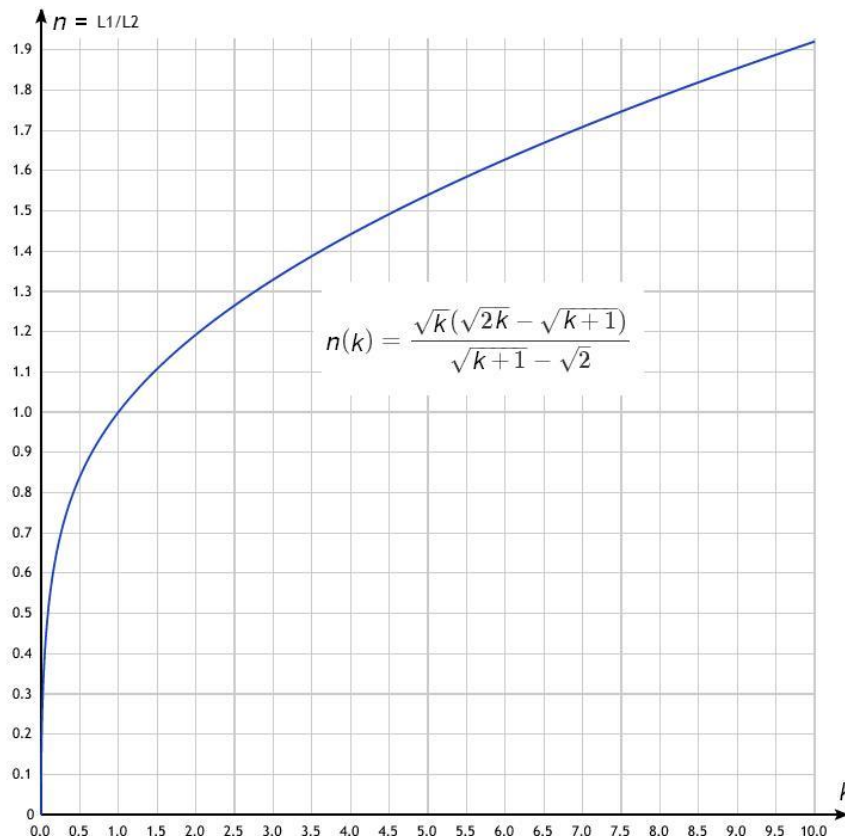


Рис. 9. Зависимость отношения разгонных импульсов от радиусов орбит

Программа для расчёта треугольной вращающейся системы КА

Для расчёта баллистических и геометрических характеристик вращающейся системы малых КА была разработана программа в среде Skilab 6.1.1. Исходными данными для расчёта являются баллистические требования: начальный и конечный радиусы круговых орбит, между которыми требуется совершить переход Гомана. Результатом вычислений являются первый и второй разгонные импульсы в манёвре Гомана и отношение $\frac{L_1}{L_2}$ характерных геометрических размеров. Ниже представлен программный (текстовый) модуль.

```
clc; clf();
Muz=398600.448; // км3/с2, гравитационный параметр Земли
Rz=6371.210; // км, средний радиус Земли
h1=200; // км, высота первой круговой орбиты
h2=400; // км, высота второй круговой орбиты
r1=h1+Rz; // км, удаление первой круговой орбиты
r2=h2+Rz; // км, удаление второй круговой орбиты
v1=sqrt(Muz./r1); // круговая скорость на r1
v2=sqrt(Muz./r2); // круговая скорость на r2
rotn=r2./r1; // отношение второго удаления к первому
a=(r1+r2)./2; // большая полуось эллипса Гомана
e=r2./a-1; // эксцентриситет эллипса Гомана
p=a.*(1-e.*e); // параметр эллипса Гомана
dv1=v1.*(sqrt(2.*rotn./(rotn+1))-1); // первый импульс Гомана
dv2=v1./sqrt(rotn.*(1-sqrt(2./(rotn+1)))); // второй импульс Гомана
L12=dv1./dv2; // отношение первого импульса и плеча к второму
dfir=0.00001; // радиан, шаг изменения полярного угла
fir=0:dfir:2.*%pi; // массив значений полярного угла
re=p./(1+e.*cos(fir)); // текущее удаление точки на эллипсе Гомана
polarplot(fir,r1);
polarplot(fir,r2);
polarplot(fir,re);
```


Программа дополнена графическими операторами, выводящими на экран схему расположения начальной и конечной круговых орбит в масштабе совместно с переходным эллипсом Гомана.

Примеры расчёта маневрирования вращающейся системы

Пример 1.

На рисунке 10 представлена схема орбитального перехода посредством манёвра Гомана с круговой орбиты высотой 200 км на круговую орбиту высотой 5000 км.

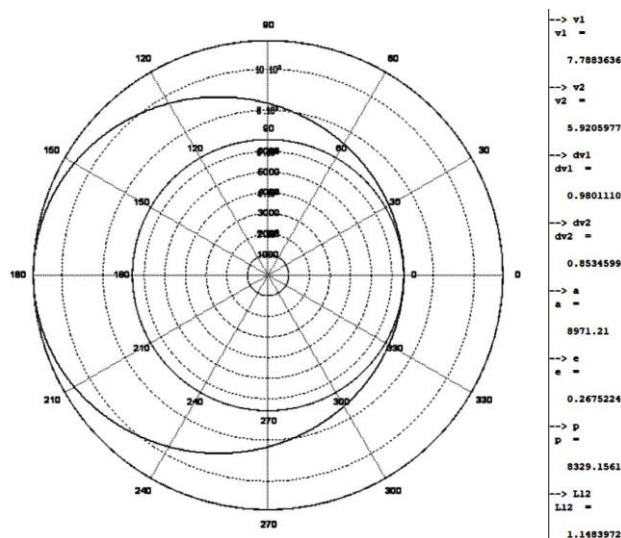


Рис. 10. Переход Гомана 200-5000 км

В правой части на рисунке 10 приведена копия окна рассчитанных характеристик (в порядке следования сверху вниз): круговая скорость на низкой орбите, круговая скорость на высокой орбите, первая разгонная скорость, вторая разгонная скорость, большая полуось, эксцентриситет, параметр эллипса Гомана, отношение $\frac{L_1}{L_2} = 1,148$ характерных

геометрических размеров. Следует отметить, что даже при таком относительно высоком орбитальном переходе указанное отношение немного более единицы, поэтому на первом этапе исследования маневрирования за счёт кинетической энергии вращения нет смысла изучать большие величины этого отношения.

Пример 2.

На рисунке 11 представлена схема орбитального перехода посредством манёвра Гомана с круговой орбиты высотой 200 км на круговую орбиту высотой 400 км.

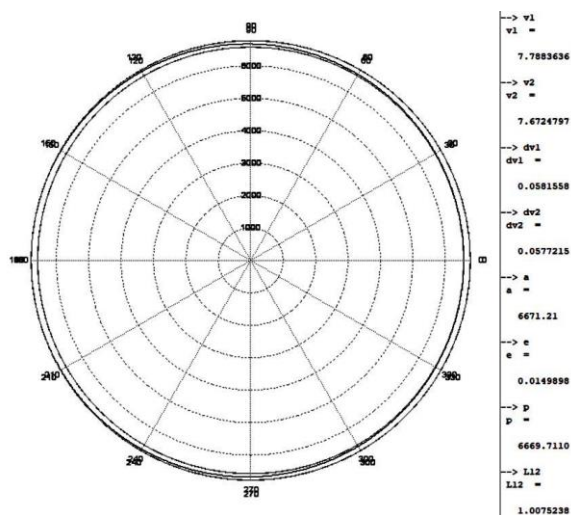


Рис. 11. Переход Гомана 200–400 км

В правой части на рисунке 11 приведена копия окна рассчитанных характеристик (в порядке следования сверху вниз): круговая скорость на низкой орбите, круговая скорость на высокой орбите, первая разгонная скорость, вторая разгонная скорость, большая полуось, эксцентриситет, параметр эллипса Гомана, отношение $\frac{L_1}{L_2} = 1,008$ характерных геометрических размеров. Следует отметить, что при малых высотах орбит их траектории на масштабной иллюстрации фактически стелются по поверхности Земли. При этом отношение характерных геометрических размеров ещё более приближается к единице.

Пример проектирования треугольной вращающейся системы КА

Выполним пример технического предложения для начала эскизного проектирования треугольной вращающейся системы КА. Пусть требуется перевести малый КА с круговой орбиты высотой 200 км на круговую орбиту высотой 400 км. Выбранные значения не являются отвлеченными, потому что первая орбита является опорной для многих схем выведения КА в космос, а вторая орбита применяется для долговременных орбитальных станций. Получаем следующую систему исходных данных для проектирования и рассчитанных баллистических величин:

$$\begin{aligned} h_1 &= 200 \text{ км} - \text{высота первой, начальной круговой орбиты;} \\ h_2 &= 400 \text{ км} - \text{высота второй, конечной круговой орбиты;} \\ r_1 &= 6571,210 \text{ км} - \text{радиус первой, начальной круговой орбиты;} \\ r_2 &= 6771,210 \text{ км} - \text{радиус второй, конечной круговой орбиты;} \\ V_1 &= 7,788 \text{ км/с} - \text{круговая скорость (первая космическая) на первой орбите;} \\ V_2 &= 7,672 \text{ км/с} - \text{круговая скорость (первая космическая) на второй орбите;} \\ \Delta V_1 &= 0,0582 \text{ км/с} - \text{первый разгонный импульс в манёвре Гомана;} \\ \Delta V_2 &= 0,0577 \text{ км/с} - \text{второй разгонный импульс в манёвре Гомана;} \\ k &= \frac{r_2}{r_1} = \frac{6771,210}{6571,210} = 1,0304 - \text{отношение радиусов круговых орбит;} \end{aligned}$$

$$n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\sqrt{k}(\sqrt{2k} - \sqrt{k+1})}{\sqrt{k+1} - \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{1,0304}(\sqrt{2 \cdot 1,0304} - \sqrt{1,0304+1})}{\sqrt{1,0304+1} - \sqrt{2}} = 1,008,$$

отношение дополнительных скоростей первого и второго импульсов в манёвре Гомана (более точный расчёт по сравнению с графическими данными на рисунке 9).

Так как в этом примере манёвр Гомана поднимает орбиту КА на сравнительно малую высоту $h_2 - h_1 = 400 - 200 = 200$ км, по сравнению с радиусом Земли $R_3 = 6371,210$ км такая величина равна 3,14%, то значения коэффициентов n и k приблизительно равны 1. Такую величину можно принять для «небольших» манёвров Гомана, например, при корректировке орбиты малого КА после снижения из-за торможения атмосферой Земли.

$$\text{Величина } n = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{L_1}{L_2} = 1,008 \text{ означает, что первое плечо } L_1 \text{ должно быть на}$$

0,8% длиннее второго плеча L_2 . При этом о массе m_E первого отделяемого КА и абсолютных размерах конструкции треугольной системы пока никакой речи не ведётся. На рисунке 12 представлен первый шаг в расчётах в смысле отношения указанных длин, то есть определение положения центра масс S системы.

Второй шаг проектирования заключается в определении положения E и массы m_E первого отделяемого от КА груза с сохранением положения центра масс S системы. Исходными данными для расчёта на этом шаге исследования является часть общей массы вращающейся космической системы, которая должна быть переведена на высокую круговую орбиту с высотой h_2 над поверхностью Земли, определённой ранее баллистическими требованиями и учтённой на первом шаге проектирования.

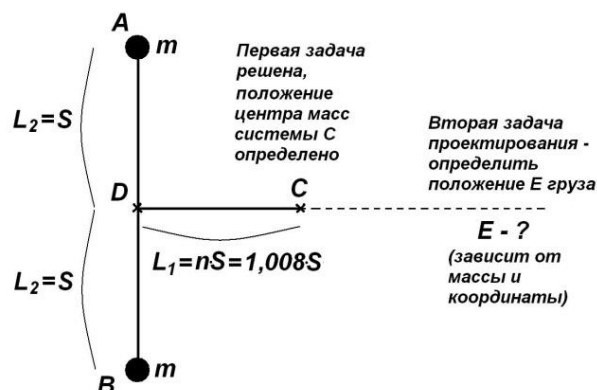


Рис. 12. Начало проектирования – положение центра масс системы

Для примера рассмотрим случай, когда на высокую круговую орбиту требуется вывести $1/3$ первоначальной массы системы. Для приближённого расчёта можно воспользоваться графиком, представленным на рисунке 8, для точного – соответствующей зависимостью. Для сформулированного требования, то есть значения $1/3$ на вертикальной оси графика (рис. 8),

находим соответствующее значение $x = \frac{L_E}{L_1} = 2$ на горизонтальной оси. По расчётной формуле

– это строгие значения величин. Значит, расстояние от центра масс системы C до точки E должно быть ровно в 2 раза больше плеча L_1 , то есть $L_E = 2,016S$, где $S = L_2$. При этом масса первого отделяемого модуля m_E будет равна $m_E = \frac{2m L_1}{L_E} = \frac{2m}{2} = m$. Полученные массовые и

геометрические характеристики полностью соответствуют физическому смыслу явлений. Слева от центра масс C находится удвоенная масса $2m$, а справа одна масса m , но при этом плечо левой массы в два раза меньше плеча правой массы. Общая масса системы равна $3m$. На конечную высокую круговую орбиту выводится масса m , то есть одна треть исходной массы космической вращающейся системы, как это требовалось в условии задачи в рассматриваемом примере. На рисунке 13 показана схема конечного варианта технического предложения в относительных размерах, то есть в пропорциях. Очередной задачей стало определение абсолютных размеров треугольной вращающейся космической системы. Для расчёта абсолютных размеров требуется вновь вернуться к баллистическим характеристикам.

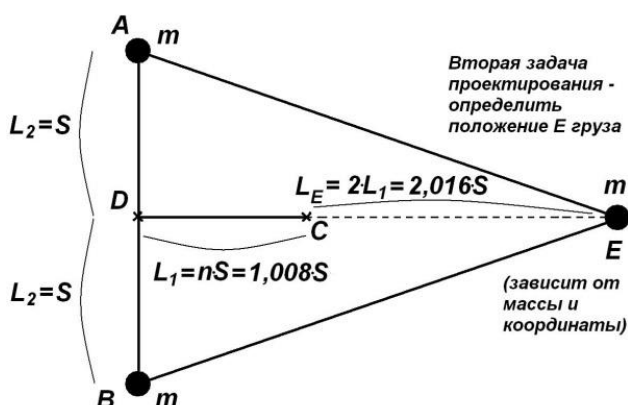


Рис. 13. Конечный вариант технического предложения

Два варианта абсолютных размеров вращающейся системы

Достаточно определить хотя бы один абсолютный размер треугольной системы, по которому с помощью пропорции рассчитываются все длины других отрезков. Например, можно вычислить длину L_2 отрезка AB из требования величины дополнительной скорости при втором импульсе в манёвре Гомана. Воспользуемся формулой связи между линейной и

угловой скоростями при вращении абсолютно твёрдого тела: $\Delta V_2 = \omega \cdot L_2$. Следовательно, длина обратно пропорциональна угловой скорости вращения системы $L_2 = \frac{\Delta V}{\omega}$. Далее надо учесть требования к конструкции КА, прежде всего, по габаритным размерам.

Пример 1. Раскрутка небольшой системы под обтекателем РН до старта.

Диаметр обтекателя тяжёлой РН равен приблизительно 4 м, что определяется, прежде всего, возможностью транспортировки железнодорожным транспортом. Значит, самый большой радиус вращения должен быть 2 м. Получаем $2,016 \cdot L_2 = 2$, откуда

$$L_2 = \frac{2}{2,016} = 0,992 \text{ м. Тогда угловая скорость вращения равна } \omega = \frac{\Delta V_2}{L_2} = \frac{57,7}{0,992} = 58,17 \text{ рад/с,}$$

что соответствует линейной частоте вращения $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{58,17}{2\pi} = 9,26 \text{ Гц (оборотов/с)}$. Скорость вращения получилась большой, но вполне достижимой и реализуемой при современном уровне развития техники.

Пример 2. Раскрутка большой тросовой системы на орбите.

Большая система может быть только тросовой. Характерным размером вполне может быть радиус вращения 100 м, то есть в 50 раз больше, чем в предыдущем примере. Значит линейная частота вращения системы уменьшится в 50 раз и будет равна $\nu_{тр} = \frac{9,26}{50} = 0,185 \text{ Гц}$ (оборотов/с), то есть 67 градусов/с. Такая скорость вращения вполне реализуема для тросовой орбитальной системы.

Таким образом, обоснована техническая реализуемость предлагаемого способа орбитального маневрирования за счёт запаса кинетической энергии вращения.

Выводы

1. Малые космические аппараты являются новым техническим решением в практике освоения и использования космического пространства, поэтому требуют поиска новых технических решений для обеспечения их работы по сравнению с существующими образцами. В первую очередь, требуются новые виды систем энергообеспечения небольших по размеру конструкций, в которых нет места для размещения ракетных двигателей и запасов химического топлива.
2. Требование энергообеспечения малых космических аппаратов связано не только с функционированием бортовых оптических и электронных систем, но и с возможностью совершать орбитальные манёвры. До сих пор в технических заданиях не содержатся требования маневрирования небольших конструкций на орбитах, вместо этого предлагаются схемы выведения в космос множества объектов. Один маневрирующий космический аппарат может заменить несколько пассивных в этом отношении конструкций за счёт комплексирования целевого назначения, когда требуется находиться на различных околоземных орбитах.
3. Схемы выведения на околоземные орбиты множества традиционных малых космических аппаратов усугубляют проблему космического мусора, потому что небольшие объекты надолго остаются в пространстве из-за малого значения силы торможения верхними слоями атмосферы. Вращающиеся космические системы позволяют уменьшить рост группировки космического мусора удалением из космоса отработавших частей небольших конструкций за счёт запаса кинетической энергии вращения.
4. Для относительно небольших орбитальных манёвров, типа перехода Гомана с изменением высоты орбиты до 200 км, может быть использована кинетическая энергия вращения орбитальной системы, которая высвобождается после разрыва связи между модулями для придания им дополнительных скоростей – разгонной для перехода на более высокую орбиту, тормозящей для снижения вплоть до входа в верхние слои атмосферы и возвращения на Землю.

5. В работе доказано, что с помощью запаса кинетической энергии вращения система малых космических аппаратов способна совершить манёвр Гомана для перехода с низкой околоземной орбиты на более высокую. В частности, показан расчётный пример увеличения высоты орбиты вращающейся системой малых космических аппаратов с 200 км до 400 км после разрыва двух связей.
6. Для выполнения манёвра Гомана предложена треугольная конфигурация вращающейся космической системы с тремя связанными в единую конструкцию модулями малых космических аппаратов. Приведена методика расчёта геометрических характеристик конструкции в зависимости от баллистических требований технического задания.
7. Для небольших конструкций, радиус которых менее двух метров, которые можно разместить под обтекателем ракеты-носителя, раскрутку системы можно выполнить на Земле перед стартом. Особый интерес представляют большие конструкции, выполненные в виде тросовых космических систем, которые разворачиваются в космосе, а затем раскручиваются за счёт солнечной энергии в двух противоположных направлениях, но при этом каждая из них обладает кинетической энергией вращения для орбитального маневрирования.

Работа выполнена в школьном кружке «Юный физик – умелые руки» при поддержке Благотворительного фонда «Образование+» при МБОУ «Гимназия №5» города Королёва (мкр. Юбилейный) Московской области.

Список использованных источников

1. Авдеев Ю.Ф., Беляков А.И., Брыков А.В. и др. Полёт космических аппаратов: Примеры и задачи: Справочник / Под общ. ред. Г.С.Титова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1990. 272 с.
2. Маркевич В.Е. Ручное огнестрельное оружие / Под общей редакцией Н.Л.Волковского. — СПб.: ООО "Издательство «Полигон». 2005. 496 с.
3. Иванов В.Л., Меньшиков В.А., Пчелинцев Л.А., Лебедев В.В. Космический мусор. В 3-х т. Том.1. - М.: Патриот. 1996. 360 с.
4. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. – М.: МАКД. 2010. 570 с.

УДК 621.828

НОЖНИЧНЫЙ ПОДЪЁМНИК С МЕХАНИЗМОМ ЛИПКИНА

Конорева М.М. (ученица, МБОУ Гимназия №3, г. Королёв, Московская область)

Научный руководитель: Дроботов В.Б. (МАИ, БФ «Образование+»)

e-mail: maryakonor@mail.ru

Опыт применения беспилотных аппаратов показал актуальность обеспечения радиосвязи между оператором и управляемым объектом. Это требование относится не только к летательным аппаратам, но и к наземной технике. Для обеспечения радиосвязи нужна антенна, причём обязательно поднятая на высоту, достаточную для выхода радиосигнала из области приземных помех. Получилось противоречивое техническое требование, потому что скрытность малого аппарата нарушается высотным объектом антенны. Предлагается антенну быстро разворачивать только на короткое время сеанса радиосвязи, а затем быстро убирать. Для этой цели разработан специальный рычажный механизм.

Ключевые слова: *ножничный подъёмник, механизм Липкина, рычаг, шарнир, коромысло, шатун, направляющий механизм, оперативность, время подготовки.*

Техническая задача создания нового подъёмного механизма появилась из практики. Опыт применения беспилотных аппаратов показал необходимость обеспечения устойчивой радиосвязи с оператором. Радиосвязь нужна не только с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), но и с аналогичными наземными образцами техники, номенклатура которых постоянно расширяется. Оптическое волокно не всегда можно использовать для управления техникой, поэтому единственным вариантом остаётся антенна. Беспилотный аппарат имеет небольшую антенну, которая по размерам сравнима с применяемыми деталями в мобильных телефонах. Однако для оператора беспилотного аппарата, летательного или наземного – это безразлично, требуется достаточно высокое расположение антенны, чтобы вывести её из области приземных помех. Идеальным случаем является вариант прямой видимости беспилотного аппарата из точки расположения антенны. Для этого обычно антенну оператора поднимают как можно выше, располагают на трубах теплостанций, столбах, деревьях. Фактически повторяется ситуация с организацией сотовой связи, основу которой составляют всем хорошо известные вышки с антеннами и оборудованием различных операторов связи, например, МТС, Билайн, Мегафон, Теле2. Принятая схема радиосвязи хорошо работает в обычных условиях, но в чрезвычайных ситуациях оказывается очень уязвимой от внешних воздействий. Действительно, чтобы парализовать работу множества беспилотных аппаратов, достаточно обнаружить и вывести из строя вышку с антеннами радиосвязи с этими средствами, не затрагивая самих аппаратов. Следовательно, появилась актуальная задача обеспечения работы антенны радиосвязи исключительно в заданный промежуток времени. Для этого нужна не постоянная вышка, мобильное устройство с самыми простыми системами быстрого развёртывания антенны и такого же быстрого свёртывания оборудования и перемещения его в другое место. Новое мобильное устройство должно быть очень простым в эксплуатации, надёжным и лёгким, в идеале переносимым и разворачиваемым и сворачиваемым всего одним человеком. Ясно, что при таких требованиях не может идти речи ни о каких гидравлических подъёмниках, электродвигателях с тяжёлыми аккумуляторными батареями и автомобильных. Для нового устройства должен соблюдаться хорошо известный в компьютерной технике принцип «Подключи и играй» (Plug and Play). Но особенностью практической реализации этого принципа должна стать не электронная техника, а механическая система, обеспечивающая работу множества электронных устройств.

Цель работы заключается в создании компактного механического устройства, способного оперативно, за единицы секунд, поднять антенну приёмно-передающего устройства на достаточную для надёжной радиосвязи высоту, а потом при необходимости так же быстро свернуть установку и переместить её в другое место одним человеком.

Исходя из сформулированной цели работы, были определены следующие требования в виде технических условий и задач, которые необходимо было решить при разработке нового технического предложения:

1. Создать исключительно механическое устройство подъёма радиоантенны на заданную высоту, полностью отказавшись от силовых гидравлических и силовых электрических систем и приводов, таких как гидроцилиндры с поршнями или плунжерами, требующие гидрогенераторов давления с электрическими приводами или двигателями внутреннего сгорания, а также полностью отказавшись от силовых электрических приводов с тяжёлыми редукторами и не менее тяжёлыми аккумуляторными батареями.
2. Разработать техническое предложение компактного механизма подъёма радиоантенны, который может транспортироваться одним человеком в сумке, в рюкзаке или, максимум, на бытовой дорожной тележке или в чемодане с небольшими колёсами.
3. Общая масса механизма подъёма, без массы антенны и электронного оборудования, антенны не должна превышать 30 кг с целью транспортировки одним человеком.
4. Максимальная высота подъёма антенны должна быть легко настраиваемой в полевых условиях обычными инструментами (гаечные ключи и отвёртки) в зависимости от конкретных решаемых задач управления беспилотным аппаратом и в зависимости от оперативной обстановки.
5. Имеющийся опыт показал, что на первых образцах механизма достаточно реализовать настраиваемую максимальную высоту подъёма антенны 3-10 метров. После проверки правильности предложенного технического решения в реальных условиях можно обсуждать вопрос об увеличении этого показателя.
6. Подъём и опускание антенны на новом механизме должны выполняться за строго заданное время, определяемое единицами секунд, реально за 3-5 секунд, причём исключительно ручным способом. При этом опускание механизма, как правило, требует более быстрой работы, чем подъём, из-за возможного внезапного изменения окружающей обстановки.

Разработка нового технического предложения подъёмного устройства для радиоантенны началась с изучения литературы, поиска аналогов, выбора и критики прототипа.

Первым аналогом выбран «Ножничный подъёмный стол (варианты)» [1]. В этом устройстве хорошо виден единичный ножничный механизм, состоящий из двух одинаковых рычагов, соединённых в центре шарниром, который позволяет регулировать высоту подъёма стола. Поворот двух рычагов друг относительно друга изменяет высоту подъёма стола относительно основания. Ножничный подъёмный механизм был выбран первым для более детального исследования, потому что обладает максимальной простотой, возможностью значительного изменения высоты подъёма, но главное – этот механизм можно простым способом и обычными инструментами наращивать множеством подобных рычагов, изменяя требуемую высоту подъёма оборудования.

Вторым аналогом выбран механизм Липкина, который относится к классу инверсорных механизмов, потому что преобразует вращательное движение в движение рабочей точки строго по прямой линии [2]. Единичный механизм Липкина не способен поднять рабочую точку и антенну на требуемую высоту. Однако в этом механизме есть очень важная для дальнейшего исследования особенность – движение рабочей точки строго по прямой линии. Эта особенность уже была исследована в авторских работах и применена для создания новых механизмов [3, 4]. Автором получен патент на изобретение, в котором применена комбинация двух механизмов Липкина [5]. Чтобы в ножничном подъёмном механизме рабочая часть перемещалась строго вертикально, требуется тоже строго вертикально перемещать центральный соединительный шарнир пары ножничных шатунов. В больших агрегатах строгое движение этого центрального соединительного шарнира по вертикальной прямой линии обеспечивается либо гидравлическими системами, то есть гидроцилиндрами с поршнями или плунжерами, либо громоздкими и тяжёлыми механическими редукторами. Следовательно, техническая задача по созданию нового лёгкого и компактного механизма

свелась, прежде всего, к замене гидравлических систем и электромеханических приводов исключительно механическим устройством, приводимым в действие силой и энергией одного человека. Нужно было найти механизм, обеспечивающий движение точки строго по вертикальной прямой линии, и для этой цели как нельзя лучше подошёл классический механизм Липкина, который часто называют механизмом Липкина-Посселье. Однако история развития техники показала, что французский инженер Посселье предложил только общую схему такого механизма, а детальное изучение движения рычагов выполнил Липман Липкин – ученик русского физика, математики и инженера Пафнутия Львовича Чебышева.

Основу нового технического решения составляет ножничный подъёмник с многократным повторением одинаковых пар ножничных шатунов. Существует производственная линейка таких образцов, которые в настоящее время широко применяются в практике выполнения работ на высоте, например, при электромонтажных работах, установке рекламных щитов, в жилищно-коммунальном хозяйстве и т.д. Например, при разработке нового технического решения в качестве прототипа выбран самоходный электрический ножничный подъёмник LS1012H, который содержит несколько, конкретно пять, пар ножничных шатунов, приводимых в действие электродвигателем [6]. Пятикратный ножничный механизм выполнен на корпусе, расположенном на автомобильной платформе. Недостатком прототипа является медленное действие (55–58 секунд), большая масса (2820 кг), большая требуемая электрическая мощность (3,3 кВт) и обязательное наличие соответствующей аккумуляторной батареи с напряжением питания 24 В. Такой подъёмник в принципе не предназначен для работы в полевых условиях, потому что автомобильное шасси работает только на ровных поверхностях складских помещений или на асфальтовых автомобильных дорогах, аккумуляторная батарея требует зарядки в специальных условиях, обслуживание оборудования проводится несколькими людьми – всё это доказывает нарушение технических требований к создаваемому устройству. Для нового технического решения ни о каких машинах, электродвигателях, аккумуляторах и обеспечивающих всё это многообразие специальных системах управления не может быть речи. Должны соблюдаться главные требования: максимальная простота устройства – отсутствие электроники, дешевизна механизма – при повреждении проще взять новый вместо ремонта старого, оперативность и удобство эксплуатации – нажал на рычаг, отработал, свернул, перенёс. Однако в выбранном прототипе есть важное свойство сочетания простоты механизма с возможностью многократного повторения одной и той же унифицированной детали для обеспечения заданной высоты подъёма оборудования. Например, можно выполнить ножничный подъёмник с одной парой ножничных шатунов, как это сделано в первом аналоге подъёмного стола [1], с пятью парами ножничных шатунов, как в прототипе [6], а так же с ещё большим количеством пар ножничных шатунов для увеличения высоты подъёма оборудования. При этом наращивание пар ножничных шатунов друг на друга можно выполнять в полевых условиях обычными инструментами, то есть гаечными ключами и отвёртками. Если одна пара ножничных шатунов поднимает оборудование на высоту h , то кратное повторение k пар ножничных шатунов увеличит высоту подъёма оборудования в k раз, то есть общая высота подъёма оборудования будет равна $H=kh$.

Ножничный подъёмник обладает преимуществом увеличения высоты подъёма оборудования, кратного количеству пар ножничных шатунов. Но одновременно с этим преимуществом в многократном ножничном механизме существует очень строгое требование движения первого центрального шарнира, который обеспечивает развёртку всех ножничных пар шатунов, строго по вертикальной прямой линии. Отклонение от вертикали приведёт к увеличению изгибающих моментов, разрушению конструкции или опрокидыванию механизма. Следовательно, необходим ещё один механизм, который обеспечит строгое прямолинейное вертикальное движение первого центрального шарнира в ножничном подъёмнике. Этому требованию хорошо соответствует механизм Липкина. На рисунке 1 показана общая кинематическая схема стыковки механизма Липкина с ножничным подъёмным механизмом.

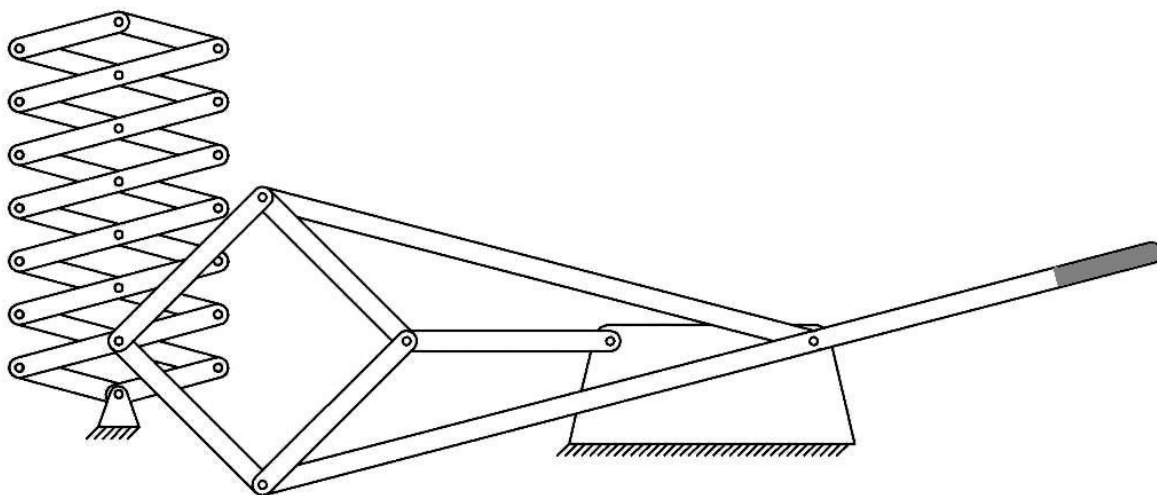


Рис. 1. Общая схема ножничного подъемника с механизмом Липкина

В левой части на рисунке 1 показан ножничный подъемный механизм. Для определенности в ножничном подъемном механизме установлены шесть пар ножничных шатунов. Каждая пара ножничных шатунов состоит из двух одинаковых рычагов, которые в центре соединены шарниром. В нижней части ножничного подъемного механизма расположены два качающиеся начальных коромысла, которые представляют собой точную половину ножничного шатуна. Два начальных коромысла крепятся к корпусу двойным шарниром, который позволяет этим двум рычагам поворачиваться относительно корпуса независимо друг от друга. К другим концам двух начальных коромысел соответственно с помощью шарниров крепятся нижние части рычагов первой пары ножничных шатунов. Верхние части рычагов первой пары ножничных шатунов шарнирно крепятся, соответственно, к нижним концам рычагов второй пары ножничных шатунов. Такие закрепления продолжаются до завершающей пары ножничных шатунов, то есть самой верхней, на схеме – это шестая пара ножничных шатунов снизу. Верхние концы завершающей пары ножничных шатунов соответственно с помощью шарниров крепятся к двум конечным шатунам, которые являются копиями рычагов двух одинаковых начальных коромысел, но совершают плоскопараллельное движение. Два конечных шатуна соединены в верхних точках шарниром, который является рабочей точкой предлагаемого подъемника. На эту рабочую точку крепится оборудование, которое необходимо поднять, например, антенна.

К ножничному подъемному механизму предъявлено очень жесткое требование – все центральные шарниры, включая двойной шарнир крепления к корпусу и верхнюю рабочую точку, должны всегда располагаться строго на вертикальной прямой линии. Это требование будет выполнено, если все центральные шарниры в начальном состоянии находятся на одной вертикальной прямой линии, а потом в процессе работы механизма первый центральный шарнир, то есть центральный шарнир первой пары ножничных шатунов, расположенный над двойным шарниром корпусного закрепления, всегда будет двигаться тоже по этой же вертикальной прямой линии. Значит, к первому центральному шарниру надо тоже шарнирно присоединить выходную рабочую точку механизма Липкина.

Таким образом, два механизма, ножничный подъемник и инверсор Липкина, оказались соединенными в одной точке тройным шарниром. Это означает, что четыре шатуна в точке соединения могут свободно и независимо друг от друга поворачиваться, сохраняя свои назначения в обоих механизмах. Механизм Липкина показан в правой части схемы на рисунке 1, располагается горизонтально, поэтому его выходная точка, то есть тройной соединительный шарнир, всегда движется строго по вертикальной прямой линии.

Механизм Липкина надо доработать в части продолжения нижнего длинного коромысла до рабочей рукоятки, обозначенной на рисунке 1 темным цветом. Когда рабочая рукоятка

движется вниз по дуге окружности, соединительный тройной шарнир перемещается вверх строго по вертикальной прямой линии, поэтому разворачивает, поднимает ножничный механизм, верхняя рабочая точка поднимается тоже строго по вертикальной прямой линии.

Вместо достаточно сложного механизма Липкина ни в коем случае нельзя применить, например, обычный простой рычаг. Действительно, выходная рабочая точка простого рычага двигается по дуге окружности, поэтому ножничный механизм при разворачивании будет отклоняться от вертикали, причём чем выше развёртка, тем больше отклонение от вертикали. Такое движение рабочей точки противоречит техническому заданию. Именно поэтому пришлось применить вместо простого рычага семизвенный механизм прямолинейного движения. Советский Академик Иван Иванович Артоболевский доказал, что для получения точного прямолинейного движения точки плоский шарнирно-рычажный механизм должен иметь не менее семи рычагов. В механизме Липкина 7 рычагов, и движение его рабочей точки, то есть соединительного тройного шарнира, строго прямолинейное.

Предложенная кинематическая схема соответствует плоскому рычажно-шарнирному механизму, работоспособность которого можно проверить теоретически по формуле П.Л. Чебышева для расчёта количества степеней свободы:

$$St = 3 \cdot Rh - 2 \cdot Sh .$$

В этой формуле и в предлагаемом механизме введены следующие обозначения:

St – количество степеней свободы плоского рычажно-шарнирного механизма;

$Rh = 23$ – количество рычагов в механизме, не считая корпуса;

$Sh = 34$ – количество шарниров в механизме с учётом их кратности.

Вычисляем количество степеней свободы предлагаемого нового механизма:

$$St = 3 \cdot Rh - 2 \cdot Sh = 3 \cdot 23 - 2 \cdot 34 = 69 - 68 = 1 .$$

Предлагаемый ножничный подъёмник с механизмом Липкина как единое устройство имеет одну степень свободы. Это означает, что каждому положению рабочей рукоятки соответствует вполне определённая высота подъёма рабочей точки, то есть верхнего шарнира, и наоборот. Таким образом, между углом поворота рабочей рукоятки и высотой подъёма рабочей точки установлено взаимно-однозначное соответствие в виде математического понятия биекции. Предложенный новый рычажно-шарнирный механизм теоретически работоспособен, кинематическая схема удовлетворяет требованиям технического задания.

Важное замечание касается требования предварительной настройки максимальной высоты подъёма рабочей точки. Такая настройка может быть выполнена даже в полевых условиях добавлением или удалением одной или нескольких пар ножничных шатунов. При таком изменении должно соблюдаться только одно кинематическое требование – ножничный подъёмный механизм должен иметь хотя бы одну пару ножничных шатунов. Общее количество пар ножничных шатунов ограничено сверху только прочностью и устойчивостью системы. Для установки одной пары ножничных шатунов требуется, грубо говоря, открутить и закрутить в общей сложности шесть гаек: снять два конечных верхних шатуна – отвинтить две гайки, установить вместо них два скреплённых уже центральным шарниром дополнительных ножничных шатуна – закрутить обратно эти же две гайки, установить на дополнительную установленную пару ножничных шатунов прежние два конечных шатуна – закрутить ещё две гайки. Следовательно, комплект ЗИП (запасные инструменты и принадлежности) должен содержать несколько пар уже скреплённых ножничных шатунов, винты с гайками и шайбами, пару гаечных ключей, возможно, отвёртку, если применены соответствующие винты.

Принцип работы предлагаемого ножничного подъёмника с механизмом Липкина поясняется тремя схемами на рисунке 2.

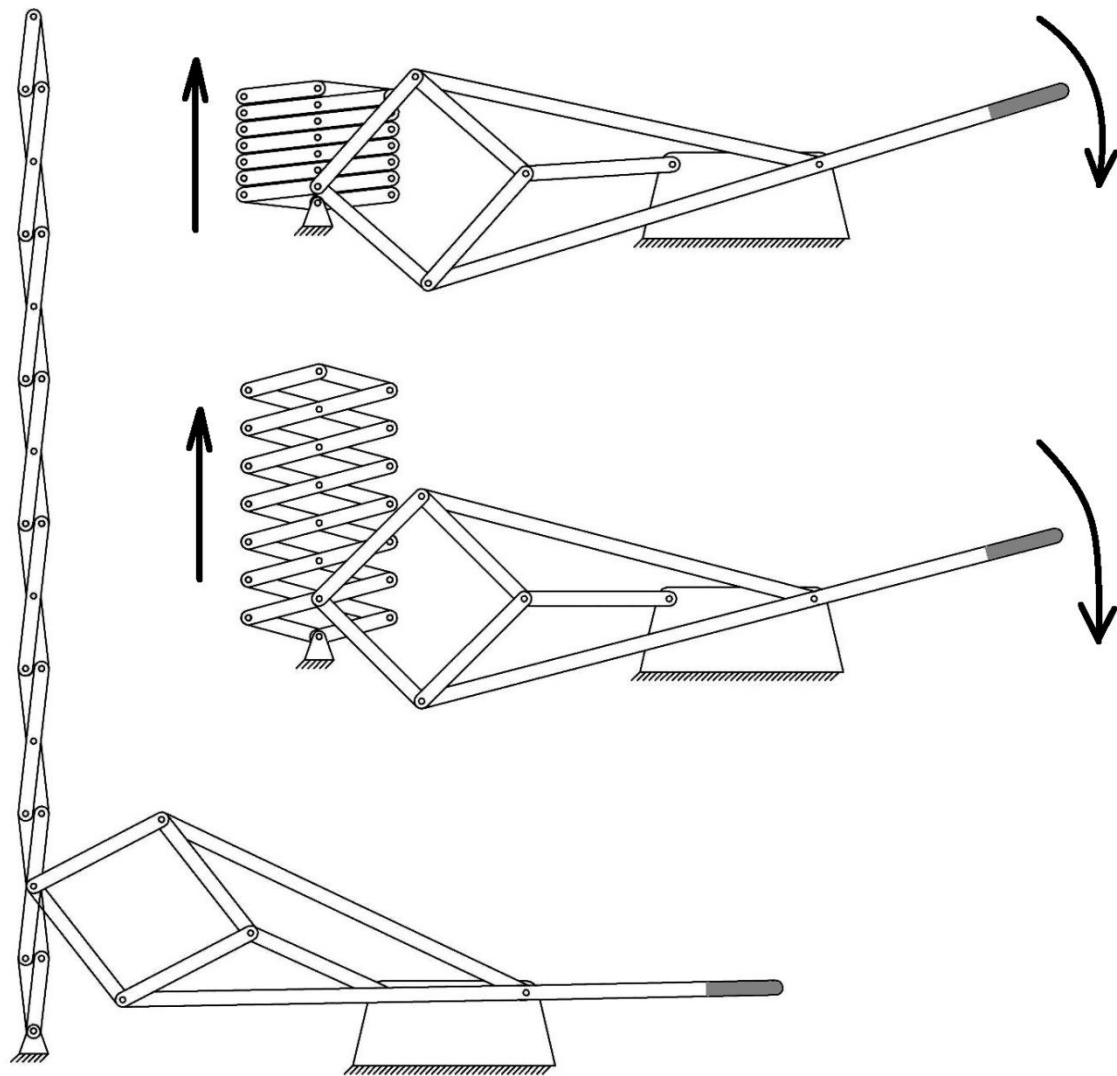


Рис. 2. Схема работы ножничного подъёмника с механизмом Липкина

Исходное состояние ножничного подъёмника с механизмом Липкина показано вверху на рисунке 2. В этом состоянии ножничный подъёмный механизм полностью сложен, пары ножничных шатунов максимально приближены друг к другу, соответствующие шатуны в любых двух соседних ножничных парах шатунов практически касаются друг друга, центральные шарниры в соседних парах ножничных рычагов максимально сближены, но при этом расположены строго на вертикальной прямой линии. Точно также тройной центральный шарнир в первой ножничной паре шатунов, то есть самой нижней на схеме, максимально приближен к двойному шарниру крепления начальных коромысел к корпусу механизма, но тоже находится строго на вертикальной прямой линии над ним. Это означает, что тройной центральный шарнир в первой ножничной паре шатунов занимает самое низкое положение за счёт связи с механизмом Липкина, который изображён справа. При этом в механизме Липкина правый конец удлинённого нижнего коромысла с выполненной на нём рабочей рукояткой занимает самое высокое положение, то есть максимально поднят. Такое исходное положение ножничный подъёмник с механизмом Липкина занимает во время транспортировки, потому что в этом случае устройство имеет минимальные габариты.

Начало подъёма рабочей точки, то есть самого верхнего шарнира в ножничном подъёмном механизме, показано в середине на рисунке 2. Это повторение состояния механизма, приведённого ранее на рисунке 1. При начале смещения вниз по дуге окружности рабочей рукоятки на конце удлинённого нижнего коромысла в механизме Липкина тройной шарнир, соединяющий механизм Липкина с ножничным подъёмным механизмом начинает

постепенно перемещаться вверх, причём перемещается строго по вертикальной прямой линии. Ножничный подъёмный механизм начинает разворачиваться с одновременным подъёмом всех пар ножничных шатунов. Величина подъёма рабочей точки ножничного подъёмного механизма равна сумме величин единичных подъёмов всех центральных шарниров во всех парах ножничных шатунов плюс такой же единичный подъём шарнира верхней пары конечных шатунов. Например, на рисунке 2 подъём первого центрального шарнира в первой паре ножничных шатунов, самой нижней, приводит к семикратному подъёму рабочей точки ножничного подъёмного механизма. При динамическом расчёте надо учитывать закон сохранения энергии, то есть в приведённом примере будет семикратное увеличение вертикального усилия на первом центральном шарнире в первой (нижней) паре ножничных шатунов по сравнению с полезной вертикальной нагрузкой, например, от силы тяжести, в верхней рабочей точке ножничного подъёмного механизма. Например, если надо поднять антенну массой 10 кг, то есть весом приблизительно 100 Н, прикреплённую к верхней рабочей точке ножничного подъёмного механизма, то на показанной схеме на нижний шарнир в первой паре ножничных рычагов соединительный трёхкратный шарнир от механизма Липкина должен действовать с вертикальной силой в семь раз больше, то есть 700 Н – это средний вес человека.

На рисунке 2 снизу показан ножничный подъёмник с механизмом Липкина в положении с максимальной высотой подъёма верхней рабочей точки. Рычаги в каждой паре ножничных шатунов оказываются сложенными подобно исходному состоянию, но в другом направлении, в вертикальном, а не в горизонтальном, соседние соответствующие рычаги в прилегающих парах ножничных шатунов опять практически касаются друг друга. В этом положении соединительный трёхкратный шатун ножничного подъёмного механизма с механизмом Липкина находится в максимально высоком положении, как и все другие центральные шарниры в парах ножничных шатунов, включая конечную пару шатунов, но все перечисленные шарниры располагаются строго на одной вертикальной прямой линии. Максимальный подъём первого центрального шарнира в первой паре ножничных шатунов обеспечен соединительным трёхкратным шарниром с механизмом Липкина. При этом рабочая рукоятка на конце удлинённого нижнего коромысла механизма Липкина находится в самом низком положении после перемещения по дуге окружности сверху вниз.

Подъём и опускание рабочей точки ножничного подъёмника с механизмом Липкина с закреплённой на ней полезной нагрузкой, например, антенной радиопередатчика или радиоприёмника, происходит за считанные секунды. В уменьшенной модели устройства с высотой подъёма рабочей точки 1–2 метра поднимание и опускание рабочей точки выполнялись приблизительно за 1 секунду. Ожидается, что при высоте 10 метров подъёма рабочей точки потребуется 3–5 секунд. Такое малое время развёртывания оборудования очень важно для решения быстрых, оперативных задач, например, при быстрой передаче информации с быстрым развёртыванием и таким же быстрым свёртыванием радиотехнического оборудования.

Максимальная высота подъёма рабочей точки определяется не только размерами рычагов, но и количеством пар шатунов в ножничном подъёмном механизме. В зависимости от требуемой максимальной высоты подъёма рабочей точки количество пар шатунов в ножничном подъёмном механизме можно изменять от одной до множества, определяемого прочностью и устойчивостью поднятой системы.

Для доказательства технической реализуемости предлагаемого устройства была изготовлена действующая модель ножничного подъёмника с механизмом Липкина, которая подтвердила правильность технического решения. На рисунке 3 показаны три фотографии модели ножничного подъёмника с механизмом Липкина, соответствующие трём характерным положениям рычагов, показанным на рисунке 2.

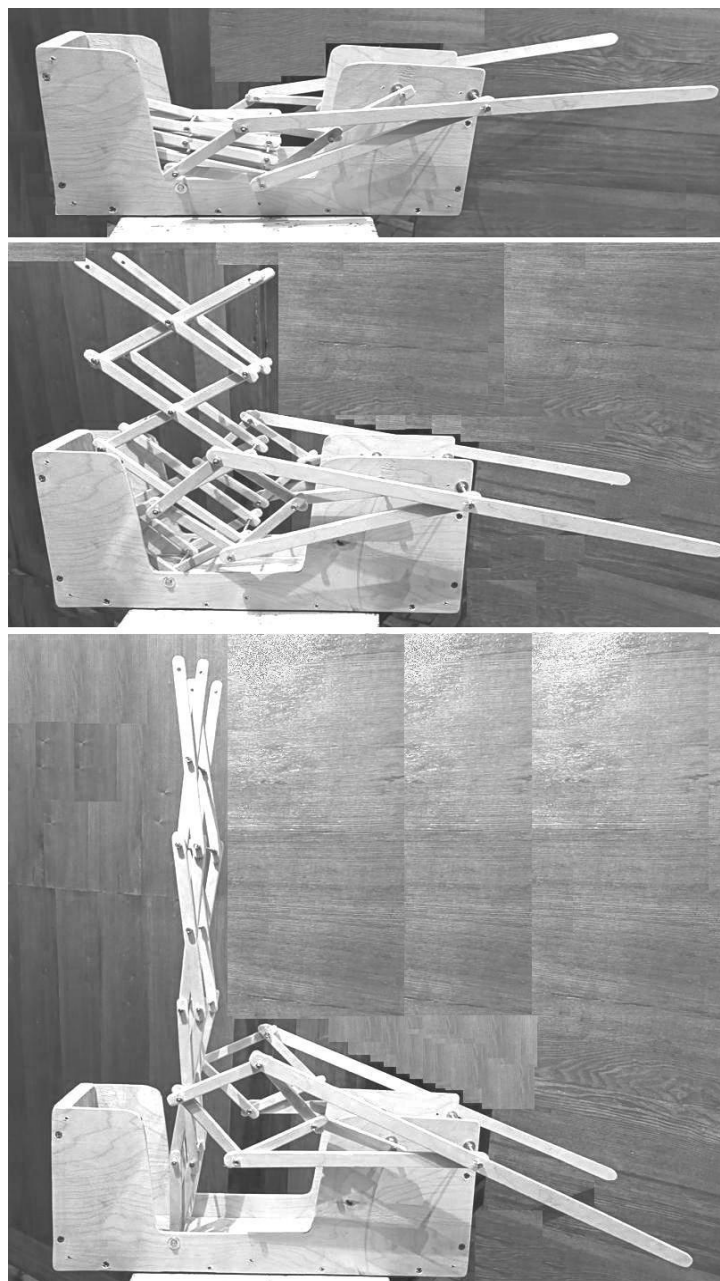


Рис. 3. Фотографии трёх характерных положений модели нового подъёмника

Таким образом, цель достигнута, предложен ножничный подъёмник с механизмом Липкина, позволивший исключить из аналогов сложные и медленные гидравлические системы. Новое устройство характеризуется простотой и быстродействием, что важно во время быстрого изменения оперативной обстановки. Для развёртывания системы достаточно нажать на рабочую рукоятку и удерживать или зафиксировать её в нижнем положении. Для быстрого свёртывания системы рабочую рукоятку достаточно поднять, придерживая её для предотвращения ударных нагрузок.

Работа выполнена в школьном кружке «Юный физик – умелые руки» при поддержке Благотворительного фонда «Образование+» при МБОУ «Гимназия №5» города Королёва (мкр. Юбилейный) Московской области.

Список использованных источников

1. Патент на изобретение RU 2647340 C2. Российская Федерация. МПК B66F 7/06. Ножничный подъёмный стол (варианты) / МОР Кристоф (DE) - заявитель и патентообладатель. Заявка 2014153154, заявл. 28.05.2013, конвенционный приоритет 29.06.2012. Код документа в НЭБ: 000224_000128_0002647340_20180315_C2_RU.
2. Андреев Н.Н. и др. Прямоугольный Липкина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etudes.ru/etudes/lipkin-inversor/> (дата обращения: 19.08.2025).

3. Конорева М.М. Механизм для прямолинейного движения печатающей матрицы 3D принтера // Авиация. Космонавтика. Будущее. Труды Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 24 августа 2024 г. 2024. С. 47–50.
4. Конорева М.М. Механизм Роберваля-Липкина для весов без горизонтального смещения чашек // Материалы и технологии XXI века. Сборник тезисов Всероссийской с международным участием школы-конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Казань, 05-06 декабря 2024 г. Отв. Редактор Герасимов А.В. 2024. С. 261.
5. Патент на изобретение RU 2840552 С2, рег. 26.05.2025. Российская Федерация. СПК F16H 21/04 (2025.01). Направляющий рычажно-шарнирный механизм для одновременного прямолинейного движения двух точек в противоположных направлениях / Конорева М.М. - заявитель и патентообладатель. - Заявка на патент на изобретение 2024128552, заявл., приоритет 26.09.2024. - Публ. 26.05.2025, Бюлл. №15. - Публ. заявки 05.11.2024, Бюлл. №31. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2840552&TypeFile=html (дата обращения: 19.08.2025).
6. Самоходный электрический ножничный подъёмник LS1012H / СТТ Ехро 2025. Каталог. Подъёмники. Самоходный электрический ножничный подъёмник LS1012H. Описание. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://liugongrussia.ru/catalog/item/ls1012h> (дата обращения: 19.08.2025).

УДК 520.99

УЧЕБНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЛИПСА

Мерзликин Т.А. (ученик, МБОУ СОШ №12, г. Королёв, Московская область)

Научный руководитель: Скворцова Е.В. (учитель математики, БФ «Образование+»)

e-mail: t.merzlikin@bk.ru

Работа посвящена дидактическому направлению преподавания курса физики как в средней общеобразовательной школе, так и в вузе. В работе изучается частный вопрос наглядного представления характеристик эллипса в зависимости от его формы. Для этого разработан и изготовлен демонстрационный прибор, на который подана заявка на патент на полезную модель. Прибор позволяет получить изображение эллипса на наклонной плоскости от вращающегося луча лазерной указки и сразу определить характеристики этой линии. Особенно наглядной стала демонстрация эксцентриситета для различных форм эллипса без каких-либо вычислений.

Ключевые слова: эллипс, эксцентриситет, характеристики эллипса, астрономия, небесная механика, эллиптическая орбита, большая полуось, малая полуось, параметр эллипса.

Тема работы появилась из практики. Преподаватели математики и физики в вузах часто отмечают, что студенты первого курса затрудняются с решением задач об эллиптических орбитах искусственных спутников Земли (ИСЗ). Затруднения связаны не столько с физической сущностью орбитального движения, сколько с неусвоенными математическими особенностями плоских кривых второго порядка. Орбитальное движение спутников происходит по замкнутым эллиптическим орбитам, отлётные от Земли траектории используются редко, поэтому особое внимание надо уделить изучению свойств эллипса. При этом появилось противоречие. С одной стороны, надо знать физическую сущность движения спутника по эллиптической орбите, например, надо владеть законами Кеплера. С другой стороны, надо формально, математически изучать эллипс и его математические характеристики. В учебных пособиях и на занятиях часто отмечается, что эксцентриситет эллипса характеризует удлинение фигуры, но при этом отсутствуют какие-либо демонстрационные установки, позволяющие наглядно усвоить такое утверждение. В школьном курсе физики эллипс вообще не изучается, только кратко упоминается на факультативных занятиях. Получается, что на первом курсе технического вуза появляется большой объём абстрактного материала, не подкреплённый наглядными учебными пособиями.

Ситуацию пытался исправить профессор Физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета Е.И. Бутиков. Он разработал комплекс компьютерных программ по механике орбитального движения [1]. Многие компьютерные программы ориентированы на школьников, имеют игровую форму. Но любая программа выдаёт результат на экране компьютера в лучшем случае в виде движущейся картинке, не позволяет прикоснуться к изучаемому объекту, повернуть его рассмотреть с различных ракурсов. Реальная лабораторная установка всегда более наглядна, чем компьютерная программа, но перечень лабораторного оборудования намного уже, чем количество созданных к настоящему времени обучающих программ. Значит, есть смысл не заменять традиционное лабораторное оборудование компьютерной техникой, а взаимно дополнять эти два обучающих направления. Так получилось с изучением свойств эллипса. Компьютерных программ для демонстрации эллипса и его свойств создано множество, но лабораторных установок практически нет. В работе предлагается заполнить эту нишу новым демонстрационным прибором, который вполне может стать инновационным внедрением в практику учебного процесса по математике и физике в средней школе и в вузе.

Цель работы заключается в создании лабораторной установки, которая наглядно представляет эллипсы различной формы и одновременно показывает характеристики этих эллипсов. Содержательная формулировка задачи сводится к простому, наглядному и доступному для понимания представлению взаимосвязи между формой эллипса и его характеристиками. Иными словами, показав эллипс на лабораторной установке, обучающийся

сразу видит или простейшим способом вычисляет его характеристики. Но демонстрация эллипса не должна быть компьютерной, требуется реальное представление фигуры, которую школьник или студент, а также учитель или преподаватель на фронтальном занятии, может повернуть, изменить, измерить, вычислить характеристики, но главное – наглядно, экспериментально проследить за взаимосвязью характеристик эллипса с его формой.

Идея создания новой лабораторной установки появилась при ознакомлении с компьютерной учебной моделью «Косые колёса», разработанной Н.Н. Андреевым в Математическом институте им. В.А. Стеклова Российской академии наук [2]. Я.Е. Сычева реализовала эту модель для движителя по рыхлому грунту [3]. Под косым колесом понимается деталь, которая изготовлена из плоского листового материала в форме наклонного сечения плоскостью прямого кругового цилиндра. Если прямой круговой цилиндр пересечь плоскостью, перпендикулярной его центральной оси, то в сечении получится окружность. Но если секущая плоскость наклонена к центральной оси цилиндра под углами от 0 градусов до 90 градусов исключительно, то в сечении получается эллипс. Особенность модели «Косые колёса» заключается в возможности получить эллипсы различного удлинения, то есть с различной вытянутостью фигуры. Вытянутость эллипса характеризуется его эксцентриситетом e . Для окружности эксцентриситет равен нулю, то есть $e=0$. Чем больше вытянут эллипс, тем больше становится величина его эксцентриситета e , но при этом не превосходит значения 1. Значения эксцентриситета $e=1$ и $e>1$ в предлагаемом учебном приборе не рассматриваются, потому что выходят за рамки цели работы – наглядной демонстрации формы характеристик эллипса. При значении эксцентриситета $e=1$ получается парабола, а при значениях эксцентриситета $e>1$ получаются гиперболы, то есть совершенно другие геометрические линии, которые не являются предметом демонстрации в предлагаемой учебной установке. Следовательно, в предлагаемом новом учебном приборе реализуются значения эксцентриситета от 0 до 1 исключительно, то есть выполняется строгое двойное неравенство $0<e<1$. Модель «Косые колёса» привела к гипотезе использовать особенности наклонного сечения прямого кругового цилиндра для демонстрации взаимосвязи формы эллипса с его характеристиками. Однако изготавливать множество эллипсов из листового материала не имеет смысла. Надо найти способ наглядного представления в учебном приборе множества форм эллипса с одновременной простой иллюстрацией его характеристик.

Способ наглядного представления эллипса и его характеристик был определён после ознакомления с традиционным оборудованием школьного физического кабинета. Прибор для изучения наклонной плоскости стал прототипом создаваемой лабораторной установки. Основу этого прибора составляет плоская наклонная пластина, как говорят обычно, наклонная плоскость [4]. Наклонная пластина дополнена тремя измерительными линейками. Первая линейка расположена вдоль наклонной плоскости, вторая линейка горизонтальная, третья линейка вертикальная. Транспортёр позволяет определять угол наклона пластины к горизонту. Наклонная пластина соединена с горизонтальным основанием шарниром, угол наклона фиксируется специальным зажимом. Этот прибор позволяет изучать движение тел по наклонной плоскости, но вполне может быть приспособлен для демонстрации эллипса и его характеристик. Однако для достижения сформулированной цели надо выполнить существенную доработку стандартного школьного прибора для создания новой лабораторной установки.

Разработка нового учебного прибора для демонстрации характеристик эллипса началась с создания известной основы. В предлагаемой новой лабораторной установке сохранено основание, пластина наклонной плоскости, шарнир, который присоединяет нижнюю часть пластины наклонной плоскости к основанию, фиксатор, транспортёр, измерительная линейка на основании, измерительная линейка на пластине наклонной плоскости. Для того чтобы измерить характеристики эллипса, эту геометрическую линию сначала надо получить и наглядно представить обучающимся посредством нового демонстрационного прибора. В предлагаемом учебном приборе изображение линии эллипса получается на пластине

наклонной плоскости, которая выполняет назначение проекционного экрана. Следовательно, надо получить изображение эллипса от внешнего устройства.

Принцип действия и структура демонстрационного прибора показан на рисунке 1.

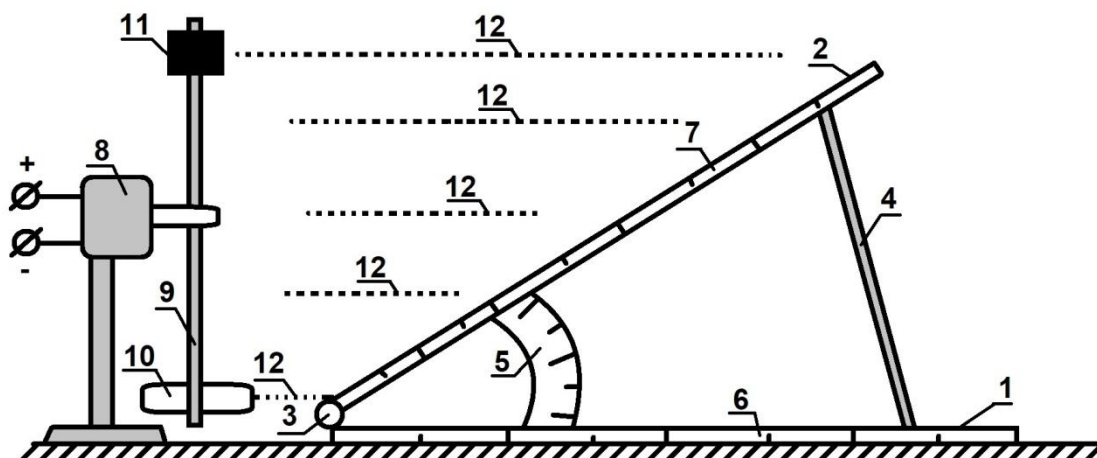


Рис. 1. Схема учебного прибора для демонстрации свойств эллипса

На рисунке 1 представлен вид сбоку предлагаемого нового учебного прибора. Учебный прибор для демонстрации характеристик эллипса своим основанием 1 располагается на рабочем столе, который изображён внизу наклонной штриховкой. Со стороны шарнира 3 напротив пластины наклонной плоскости 2 устанавливается электродвигатель 8, приподнятый над основанием 1 на заданную высоту, о которой будет сказано далее. Подъём электродвигателя 8 над основанием 1 может быть выполнен специальной подставкой или посредством лабораторного штатива со специальным винтовым зажимом. Электродвигатель 8 маломощный, постоянного тока, с напряжением питания 5 В, на реальной установке взят от вышедшего из строя принтера. К валу электродвигателя 8 крепится штанга 9. Крепление штанги 9 к валу электродвигателя 8 выполняется специально предусмотренным для этого образом, например, гайкой в случае резьбы на валу электродвигателя 8, шлицевым соединением или посадкой штанги 9 с натягом на вал. На одном конце штанги устанавливается включённая лазерная указка 10. В реальной установке применена лазерная указка 10 с красным лучом с длиной волны 650 нм, который обеспечивает яркое, хорошо видимое издали, с последнего ряда поточной аудитории вуза или школьного кабинета, изображение в виде небольшого круга, почти точки, на пластине наклонной плоскости 2. На противоположном конце штанги 9 закреплён противовес 11, который балансирует динамическую систему во время достаточно быстрого вращения, реальная линейная частота вращения штанги 9 на валу электродвигателя 8 в созданной установке приблизительно равна 10 Гц, то есть около 10 оборотов в секунду. Длина штанги 9 выбрана такой, чтобы в нижнем положении лазерная указка 10 проецировала лазерный луч 12 на пластину наклонной плоскости 2 в её нижней точке почти у шарнира 3. Верхнее положение лазерной указки 10 над основанием 1 ограничено длиной пластины наклонной плоскости 2 и демонстрацией эллипса желаемого удлинения, то есть желаемым для демонстрации эксцентриситетом эллипса. Лазерная указка 10 установлена строго перпендикулярно плоскости вращения штанги 9, чтобы лазерный луч 12 вращался по образующей линии круговой цилиндрической поверхности. Рис.1 иллюстрирует вращение лазерного луча 12 изображением пунктирными линиями множества его положений на круговой цилиндрической поверхности при виде сбоку.

Учебный прибор для демонстрации характеристик эллипса работает следующим образом. При включении электродвигателя штанга начинает вращаться вместе с заранее включённой лазерной указкой и противовесом. Лазерный луч тоже вращается по поверхности кругового цилиндра, являясь его прямой образующей линией. При вращении лазерного луча с линейной частотой около десяти оборотов в секунду проекция небольшого лазерного пятна, почти точки, на пластине наклонной плоскости воспринимается глазом человека как единая,

непрерывная линия. Пластина наклонной плоскости является экраном и одновременно секущей плоскостью кругового цилиндра всех вращающихся лазерных лучей от вращающейся лазерной указки. Если пластину наклонной плоскости поднять и разместить перпендикулярно основанию, то получится изображение окружности как сечения кругового цилиндра плоскостью, перпендикулярной его центральной оси. Таким способом приблизительно можно проверить правильность юстировки лазерной указки в штанге перед началом демонстрационного эксперимента, при этом радиус окружности должен быть равен удалению лазерной указки от оси вала электродвигателя, а диаметр окружности должен быть в два раза больше, причём диаметр окружности проверить проще, чем радиус, по линейке пластины на наклонной плоскости. Нижняя точка окружности находится на нулевой отметке около шарнира, а верхняя точка окружности располагается на экране, то есть на пластине наклонной плоскости, напротив отметки, равной диаметру окружности.

Линейка на пластине наклонной плоскости и линейка на основании имеют общее начало, то есть нулевую отметку, на шарнире, что важно для последующих вычислений.

Если угол наклона пластины наклонной плоскости к основанию начать уменьшать от прямого, то есть от 90 градусов, то лазерный луч покажет не окружность, а эллипс. Эллипс будет вытянут тем больше, чем сильнее будет отличаться от прямого угол наклона пластины наклонной плоскости к основанию. При стремлении этого угла к нулевому значению эллипс будет стремиться к параболе, то есть величина эксцентриситета эллипса будет стремиться к 1, не достигая этого значения.

Первый демонстрационный эксперимент с учебным прибором можно проводить качественно, без измерений, показывая обучающимся многообразие эллипсов по их эксцентриситету, то есть вытянутости. Для этого достаточно включить установку с лазерной указкой и электродвигателем и рукой отклонять пластину наклонной плоскости, даже не пользуясь фиксатором. Одновременно новый учебный прибор позволяет наглядно показать, что эллипс является более общим понятием по сравнению с окружностью, и наоборот, окружность является частным случаем эллипса.

В новой учебной установке удобно вести отсчёт угла α отклонения пластины наклонной плоскости не от основания, то есть не от горизонтали, а от перпендикуляра к основанию, то есть от вертикали. При таком отсчёте при нулевом значении угла $\alpha = 0^\circ$ на экране получается окружность, при увеличении угла α эллипс вытягивается и стремится к параболе при угле 90 градусов, не достигая этого значения. При таком отсчёте угла α транспортир показывает дополнение этого угла до 90 градусов, то есть до прямого угла, то есть показывает значение $(90^\circ - \alpha)$.

Согласно поставленной цели создания нового учебного прибора требуется не только показывать формы различных эллипсов, но дополнительно демонстрировать взаимосвязь форм эллипсов с численными характеристиками этих линий. Рисунке 2 иллюстрирует основные характеристики эллипса, которые позволяет демонстрировать предлагаемый новый учебный прибор.

На рисунке 2 введены традиционные обозначения общепринятых характеристик эллипса:

O – геометрический центр эллипса;

$F_1; F_2$ – фокусы эллипса;

OX – координатная ось, проходящая через фокусы F_1 и F_2 эллипса;

OY – координатная ось, перпендикулярная координатной оси OX ;

a – большая полуось эллипса;

$2a$ – большая ось эллипса;

b – малая полуось эллипса;

$2b$ – малая ось эллипса;

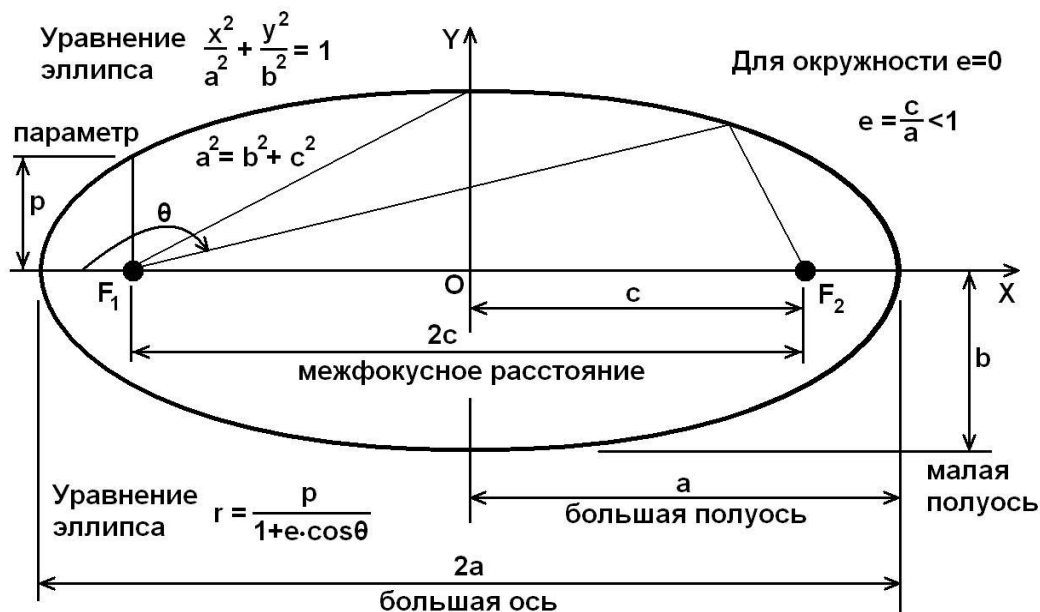


Рис. 2. Характеристики эллипса для демонстрации в лабораторном приборе

$c = \sqrt{a^2 - b^2}$ – половина межфокусного расстояния эллипса;

$2c$ – межфокусное расстояние эллипса;

$e = \frac{c}{a} = \frac{2c}{2a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ – эксцентриситет эллипса;

$p = \frac{b^2}{a}$ – параметр эллипса;

$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ – уравнение эллипса в прямоугольных координатах $(x; y)$;

$r = \frac{p}{1 + e \cdot \cos \theta}$ – уравнение эллипса в полярных координатах $(r; \theta)$, но в этом учебном приборе

оно не применяется, поэтому обозначение r будет иметь другой смысл без путаницы в обозначениях, но учебный прибор позволяет демонстрировать параметр p эллипса и эксцентриситет e эллипса, присутствующие в полярном уравнении эллипса;

r – удаление текущей точки эллипса от фокуса F_1 в формуле уравнения эллипса в полярных координатах, но в этом учебном приборе оно не применяется, поэтому под r будет пониматься радиус вращения лазерной указки и лазерного луча вокруг оси вала электродвигателя, то есть геометрическая характеристика учебного прибора, а не эллипса;

θ – полярный угол текущей точки эллипса с отсчётом от перицентра, как в астрономии.

Для достижения сформулированной цели работы учебный прибор дополнен новыми элементами. Наиболее трудным начальным понятием при изучении эллипса является эксцентриситет e . Оказалось, что предлагаемый учебный прибор очень просто и наглядно демонстрирует эксцентриситет e эллипса, если определённым образом разместить линейку на пластине наклонной плоскости и линейку на основании. Но сначала всё равно надо определить и наглядно показать первые две характеристики эллипса: большую полуось a и малую полуось

b , которые содержатся в уравнении эллипса $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ в прямоугольных координатах $(x; y)$.

Для этого направляем координатную ось Ox по пластине наклонной плоскости вверх, от есть от шарнира. Координатная ось Oy лежит в плоскости пластины наклонной плоскости и перпендикулярна координатной оси Ox , но точка O начала координат пока не определена, так как пока не определена большая полуось a эллипса.

эллипса от его геометрического центра O и вычисляется по формуле $a = OB = \frac{b}{\cos \alpha} = \frac{r}{\cos \alpha}$.

Большая ось эллипса $2a$ демонстрируется на учебной установке отрезком AB , она в два раза больше большой полуоси a эллипса, то есть $2a = AB = 2 \cdot OB = \frac{2 \cdot b}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot r}{\cos \alpha}$. Таким образом,

большая полуось a и большая ось $2a$ эллипса наглядно представлены при работе предлагаемой учебной установки, определены и вычислены строго аналитически.

Следующая задача заключается в наглядной демонстрации на учебной установке, определении и вычислении половины межфокусного расстояния c и самого межфокусного расстояния $2c$. На рисунке 3 обозначен только один фокус F эллипса. Этого достаточно, например, по первому закону Кеплера, потому что в фокусе F располагается центр тяготения. Следовательно, половина межфокусного расстояния c равна длине отрезка OF , то есть $c = OF$. Половину межфокусного расстояния c надо выразить через величины, которые можно измерить на учебной установке, то есть через радиус r вращения лазерного луча и угол α отклонения пластины наклонной плоскости от вертикали. Для определения и вычисления половины межфокусного расстояния c применяем соотношение между величинами для эллипса и подставляем в него определённые ранее выражения для малой полуоси b и большой полуоси a эллипса:

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2 \alpha} - r^2} = \sqrt{r^2 \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1 \right)} = r \sqrt{\tan^2 \alpha} = r \cdot \tan \alpha.$$

Межфокусное расстояние будет в два раза больше, то есть $2c = 2r \cdot \tan \alpha$. Таким образом, учебная установка позволила определить межфокусное расстояние в изображаемом на ней эллипсе.

Самый необычный новый результат получился для демонстрации эксцентриситета e эллипса. Эту характеристику эллипса важно знать, например, для выполнения манёвра Гомана при переходе космического аппарата с одной круговой орбиты на другую [5]. Величину эксцентриситета e эллипса пока не получится измерить непосредственно, как малую полуось b , большую полуось a и половину межфокусного расстояния c . Для определения и вычисления эксцентриситета e эллипса надо воспользоваться следующей формулой и подставить в неё уже определённые ранее выражения для половины межфокусного расстояния c и большой полуоси a эллипса:

$$e = \frac{c}{a} = \frac{r \cdot \tan \alpha}{\frac{r}{\cos \alpha}} = \frac{r \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot r} = \sin \alpha.$$

эллипса получилась очень простая и удобная для практической реализации в учебной установке формула $e = \sin \alpha$. Во-первых, оказалось, что эксцентриситет e эллипса не зависит от радиуса r вращения лазерного луча, то есть от радиуса r кругового цилиндра, который описывает лазерный луч. Во-вторых, оказалось, что эксцентриситет e эллипса равен синусу угла α отклонения пластины наклонной плоскости от вертикали. Конечно, можно воспользоваться формулой приведения, чтобы перейти от синуса угла α отклонения от вертикали к косинусу угла отклонения от горизонтали, чтобы воспользоваться уже имеющимся транспортом 5, но на практике оказалось удобнее измерять именно угол α отклонения от вертикали. Более того, далее будет показано, что угол α отклонения от вертикали можно даже не измерять, потому что новая учебная установка сразу автоматически покажет величину эксцентриситета e эллипса, который высвечивает лазерный луч на пластине наклонной плоскости. Таким образом, эксцентриситет e эллипса определён и представлен иллюстративно, наглядно в предлагаемой новой учебной установке.

Наконец, ещё одной характеристикой эллипса, которую может наглядно представить предлагаемая учебная установка, является параметр p эллипса. Если в полярном уравнении эллипса предположить полярный угол $\theta = 90^\circ$, то величина параметра p эллипса будет равна удалению текущей точки эллипса от центра притяжения, то есть от фокуса F , как это показано

на рисунке 3. Параметр p эллипса определяется и вычисляется с учётом ранее определённых характеристик по следующей формуле:

$$p = \frac{b^2}{a} = \frac{r^2}{\left(\frac{r}{\cos \alpha}\right)} = r \cdot \cos \alpha.$$

Радиус r вращения лазерного луча задан в качестве конструкционного элемента учебной установки. Далее будет показано, что косинус угла α отклонения пластины наклонной плоскости 2 от вертикали можно не вычислять, потому что это значение сразу будет зафиксировано на предлагаемой учебной установке, но можно вычислить через синус этого же угла, значение которого уже определено при вычислении эксцентриситета e эллипса. Дополнительно параметр p эллипса можно непосредственно линейкой измерить на пластине наклонной плоскости, но для этого надо знать удаление L фокуса F эллипса от его ближайшей точки, то есть, как говорят астрономы, надо знать перигейное расстояние, которое показано на рисунке 3. Для перигейного расстояния формула получается более длинной, но простой для выполнения вычислений:

$$L = a - c = \frac{r}{\cos \alpha} - r \cdot \operatorname{tg} \alpha = r \left(\frac{1}{\cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha \right) = r \cdot \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha}.$$

Можно даже воспользоваться первым выражением в полученном равенстве, то есть из уже известной величины a большей полуоси вычесть величину половины межфокусного расстояния c эллипса. Такое вычисление не вызывает затруднений. Другие выражения показывают, что перигейное расстояние L тоже определяется только характеристиками учебной установки. Таким образом, параметр p эллипса тоже определён и представлен наглядно на предлагаемой учебной установке.

Значительное упрощение предлагаемой учебной установки связано с непосредственным показанием величины эксцентриситета e эллипса, который высвечивается на пластине наклонной плоскости вращающимся лазерным лучом. Но для такого упрощения требуется в принципе изменить ранее установленные измерительные приборы, а именно: измерительную линейку на пластине наклонной плоскости, измерительную линейку на основании, транспортир. Эти три существенных изменения иллюстрируются схемой с пояснениями, представленной на рисунке 4.

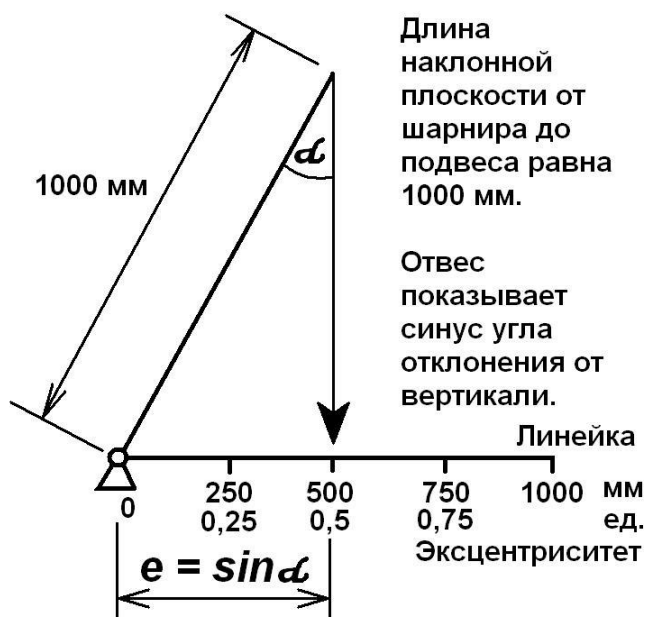


Рис. 4. Упрощение и наглядное отображение эксцентриситета эллипса

Во-первых, измерительная линейка на пластине наклонной плоскости видоизменена тремя существенными доработками:

1. Измерительная линейка на пластине наклонной плоскости обязательно имеет начало отсчёта, то есть нулевую отметку, в точке шарнира крепления пластины наклонной плоскости к основанию. Измерительная линейка на пластине наклонной плоскости расположена, как в традиционном школьном приборе, вдоль наклонной плоскости.
2. Измерительная линейка на пластине наклонной плоскости обязательно имеет длину ровно 1 метр, то есть 100 см, или, что то же самое, 1000 мм. Удобнее пользоваться измерительной линейкой с ценой деления 1 мм.
3. Измерительная линейка на пластине наклонной плоскости на конечной отметке 1000 мм имеет деталь для крепления ватерпаса, то есть вертикального отвеса, например, типа строительного вертикального отвеса.

Во-вторых, измерительная линейка на основании имеет длину не более 1000 мм. Ватерпас имеет достаточную длину для пересечения его нити вертикального отвеса со шкалой измерительной линейки на основании в любом необходимом положении деталей учебного прибора. В частности, при длине 1000 мм нити вертикального отвеса ватерпаса это требование будет всегда выполнено.

При выполнении этих условий вертикальная нить отвеса ватерпаса, закреплённая верхним концом на отметке 1000 мм измерительной линейки на пластине наклонной плоскости, автоматически покажет значение синуса угла α отклонения пластины наклонной плоскости от вертикали, то есть эксцентриситет e эллипса, который высвечивается вращающимся лазерным лучом на учебном приборе. Никаких вычислений делать не требуется, нужно только посмотреть на показание ватерпаса на измерительной линейке на основании. Если измерительная линейка на основании имеет цену деления 1 мм, то значение эксцентриситета e напротив отвесной вертикальной нити ватерпаса будет наглядно представлено в промиллях, то есть в тысячных долях. Можно дополнить шкалу измерительной линейки на основании второй шкалой, на которой 1000 мм, то есть 1 метр, соответствует предельному и не достижимому значению эксцентриситета e , равному единице, как у параболы, которую предлагаемый учебный прибор показывать не может – такая задача не содержится в цели создания нового устройства.

Вертикальный отвес ватерпаса может быть выполнен не обязательно в виде нити, но и в виде вертикальной измерительной линейки, но с началом отсчёта от точки подвеса. Если вертикальный отвес ватерпаса выполнен в виде нити, то на эту нить могут быть нанесены деления, как на вертикальную линейку, с началом отсчёта от точки подвеса. При наличии вертикальной измерительной линейки на ней на уровне пересечения с основанием автоматически будет указано значение косинуса угла α отклонения от вертикали пластины наклонной плоскости, которое требуется для расчёта, например, параметра p эллипса. Однако вертикальная измерительная линейка не является принципиальным элементом, потому что по ранее определённом значению синуса острого угла всегда однозначно рассчитывается косинус этого же острого угла. Принципиальным элементом нового прибора является вертикальный отвес ватерпаса, не обязательно измерительный, то есть не обязательно градуированный.

Наконец, транспортир тоже выполняет вспомогательную функцию, не является обязательным, потому что определяет угол $(90^\circ - \alpha)$ отклонения пластины наклонной плоскости от горизонтали, по которому однозначно рассчитывается угол α отклонения пластины наклонной плоскости от вертикали для выполнения указанных ранее расчётов и демонстраций характеристик эллипса.

Практическая реализуемость предлагаемой лабораторной установки доказана изготовлением действующей модели, четыре фотографии которой показаны на рисунке 5.

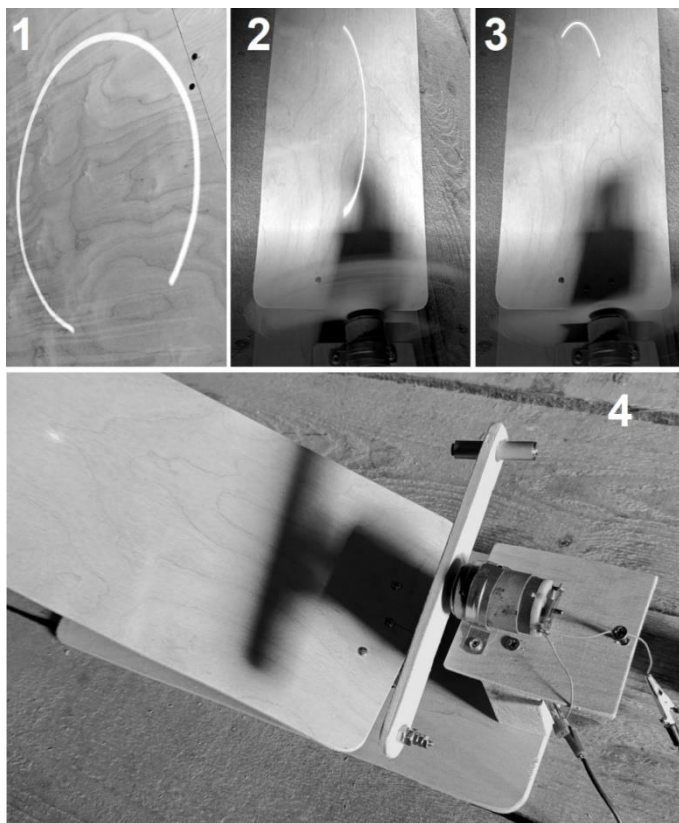


Рис. 5. Фотографии лабораторной установки

Первая иллюстрация доказывает возможность визуальной регистрации эллипса, созданного вращающимся лазерным лучом на обычном фанерном листе. Неполный эллипс, приблизительно три четверти от замкнутой линии, обусловлен более короткой выдержкой фотоаппарата, чем период обращения вала двигателя с лазерной указкой. На второй иллюстрации выдержка фотоаппарата была уменьшена, поэтому зафиксирована половина дуги эллипса. В нижней части снимка виден электродвигатель с вращающейся штангой. На третьей фотографии выдержка фотоаппарата стала ещё меньше, чтобы более качественно зафиксировать момент самой удалённой от фокуса точки эллипса, как говорят астрономы, апогея. Наконец, на четвёртой фотографии показан учебный прибор с выключенным двигателем, но с включенной лазерной указкой. В правой части снимка виден электродвигатель на подставке и штанга, закреплённая на валу электродвигателя. К концам штанги прикреплены включённая лазерная указка и противовес. Применена широко распространённая лазерная указка с красным лазерным лучом с длиной волны 650 нм. Основание и пластина наклонной плоскости выполнены из фанеры толщиной 4 мм. В левом верхнем углу четвёртой фотографии видно пятно от лазерного луча, которое имеет небольшой размер. Именно это пятно при вращении штанги с линейной частотой приблизительно 10 Гц, то есть 10 оборотов в секунду, создаёт изображение, воспринимаемое глазом человека как непрерывная линия эллипса. Форма эллипса зависит от угла отклонения пластины наклонной плоскости от вертикали, при этом характеристики эллипса, вычисляются по приведённым ранее формулам. Особый интерес вызывает простота определения величины эксцентриситета эллипса, которая сразу определяется по пересечению вертикального отвеса ватерпаса с измерительной линейкой на основании.

Таким образом, цель создания нового учебного прибора для демонстрации характеристик эллипса достигнута. Первая модель нового прибора апробирована во время учебных занятий в школе и в вузе.

Работа выполнена в школьном кружке «Юный физик – умелые руки» при поддержке Благотворительного фонда «Образование+» при МБОУ «Гимназия №5» города Королёва (мкр. Юбилейный) Московской области.

Список использованных источников

1. Бутиков Е.И. Движение космических тел в компьютерных моделях / Санкт-Петербургский государственный университет. Физический факультет. – Санкт-Петербург, 2007. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://butikov.itmo.ru/Lectures/Motion.pdf> (дата обращения: 23.08.2025).
2. Андреев Н.Н. и др. Косые колёса. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etudes.ru/models/skewed-wheels/> (дата обращения: 23.08.2025).
3. Сычева Я.Е. Наклонное эллиптическое колесо для рыхлых поверхностей / IX Колачёвские чтения. Материалы IX Всероссийской молодёжной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения Ю.А.Гагарина, 4 апреля 2024 г., г. Ступино, Московская область, Ступинский филиал Московского авиационного института (НИУ МАИ). – Москва, ИНФРА-М, 1924. С. 195–196.
4. Прибор для изучения наклонной плоскости. Китай. Артикул: 2236. Labbox. Главная. Физика. Механика. Сила. Работа. Энергия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://labbox.ru/product/pribor-dlya-izucheniya-naklonnoj-ploskosti/?ysclid=meljeutl53607859235> (дата обращения: 23.08.2025).
5. Екимовская А.А. Орбитальный манёвр разрывом вращающегося отрезка / Сборник научных трудов по материалам Фестиваля науки «Гении Подмосковья», г.о. Королёв, Московская область, Центр молодёжных инициатив, 17 сентября – 20 ноября 2022 г. С. 331–345.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

УДК 378.147.3

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УНИВЕРСИТЕТАХ

Бикмулина Т.Н. (магистрант, ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н., преподаватель Изотова А.Г. (ИТМО)

e-mail: tanyabik4@gmail.com

*В статье проводится исследование влияния искусственного интеллекта (ИИ) на качество образовательной деятельности в высших учебных заведениях. Рассматриваются ключевые направления применения искусственного интеллекта: автоматизация учебного процесса, персонализация обучения, поддержка преподавателей, развитие инклюзивных образовательных практик. На основе данных исследований ведущих российских вузов приведены количественные показатели эффективности внедрения ИИ-инструментов — повышение успеваемости на 15–20%, рост вовлеченности почти вдвое, снижение процента отчислений. Особое внимание уделено этическим вопросам использования ИИ, необходимости формирования соответствующих нормативов, а также подготовке кадров, способных работать в условиях цифровой трансформации. **Ключевые слова:** искусственный интеллект, высшее образование, качество образования, адаптивное обучение, автоматизация, оценка эффективности.*

Введение

Внедрение ИИ в систему высшего образования является стратегическим приоритетом национальной цифровой политики. «Национальная стратегия развития ИИ до 2030 года» предусматривает масштабное увеличение числа специалистов в области ИИ с числа 3 тысяч выпускников в 2022 году до 15,5 тысяч к 2030 году. Уже в 2024–2025 гг. более 200 российских вузов применяют ИИ-технологии в учебном процессе, что сопровождается значительным улучшением показателей образовательной деятельности [1]. Например, данные НИУ ВШЭ свидетельствуют о росте успеваемости студентов на 15–20% и увеличении вовлеченности почти вдвое после интеграции ИИ-систем [2].

Аналитика применения ИИ показывает, что технологии позволяют автоматизировать рутинные процессы, концентрируя ресурсы на индивидуальной поддержке студентов и развитии творческих компетенций. Одновременно возрастает необходимость решения задач этического регулирования и повышения квалификации преподавателей, что становится акцентом в научных и практических дискуссиях о будущем высшего образования [3].

Современное общество стремительно развивается в условиях цифровой трансформации, что отражается на всех сферах жизни, в том числе и в образовании, медицине, бизнесе. Это делает тему внедрения и адаптации ИИ в образовательных процессах особенно актуальной и требующей более глубокого изучения. Системный анализ возможностей ИИ становится основной для формирования новых подходов к обучению и развития компетенций.

Ключевые направления применения ИИ в образовательном процессе вузов

ИИ в высшем образовании становится мощным инструментом трансформации учебного процесса и повышения качества образовательной деятельности. Его внедрение выходит за рамки простой автоматизации, перерастая в стратегический элемент формирования новой образовательной экосистемы. Данная трансформация затрагивает все ключевые аспекты работы университета: от административных процессов и методик преподавания до построения индивидуальных траекторий обучения и обеспечения инклюзивной среды.

Важнейшим направлением становится развитие интеллектуальных систем управления вузом, которые оптимизируют не только учебный процесс, но и административно-хозяйственную деятельность. ИИ-алгоритмы позволяют анализировать большие массивы данных для прогнозирования потребностей в ресурсах, оптимизации расписания,

управления приемной кампанией и распределения бюджетов. Это способствует повышению общей эффективности работы образовательной организации и создает основу для принятия управленческих решений на основе данных.

Автоматизация и аналитика учебного процесса

Автоматизация рутинных задач, таких как проверка тестов и контрольных работ, позволяет снизить нагрузку на преподавателей. Современные ИИ-системы, такие как генеративные модели, экспертные системы и интеллектуальные ассистенты, способны анализировать не только формальные ответы, но и логику рассуждений, структуру и стиль работ, что увеличивает объективность оценки и сокращает время проверки в 4–5 раз [4]. Это позволяет преподавателям больше времени уделять индивидуальной работе со студентами, развитию их творческих и исследовательских навыков.

Кроме автоматизации, ИИ усиливает аналитические возможности вузов в сфере оценки учебной деятельности. На основе больших данных и машинного обучения создаются интеллектуальные системы, которые не только определяют уровень освоения материала, но и прогнозируют потенциальные сложности и риски отчислений [5]. Практический опыт российских вузов, например, Кемеровского государственного университета, показал снижение отчислений за счет использования превентивной аналитики, позволяющей на ранних этапах выявлять студентов и оказывать им своевременную поддержку [4].

Системы, основанные на ИИ, в реальном времени анализируют поведение студентов, включают мониторинг активности на образовательных платформах, время выполнения заданий и качество выполнения работ [4]. Такие данные используются факультетами и администрацией вузов для принятия оперативных решений по адаптации программ обучения и поддержки отдельных студентов, что значительно повышает вовлеченность и успеваемость.

Персонализация обучения и развитие инклюзивной среды

ИИ-технологии способствуют персонализации обучения, адаптируя учебный материал под индивидуальные особенности студентов – стиль восприятия, темп, зоны роста. Платформы, такие как Plagio в Томском государственном университете, помогли достичь значительного улучшения успеваемости по сложным дисциплинам, включая высшую математику [6]. Такой подход позволяет уравновесить интересы разных категорий студентов, снижая отставание слабых и стимулируя сильных. Анализ учебных данных и мониторинг в реальном времени дают возможность своевременно корректировать образовательные маршруты, что отражается в улучшении результатов общего качества образования [6].

Кроме того, ИИ расширяет возможности инклюзивного образования. Создаются мультязычные и адаптивные платформы, технологии преобразования речи и распознавания текста, что обеспечивает доступность образования для студентов с особыми потребностями и иностранных обучающихся. Это способствует повышению социальной справедливости и равных образовательных возможностей [6].

Оптимизация административно-управленческой деятельности в вузах

Внедрение ИИ оказывает масштабное воздействие не только на учебный процесс, но и на административно-управленческую деятельность университетов, что косвенно, но существенно влияет на качество образовательной среды. Интеллектуальные системы анализа больших данных позволяют оптимизировать ключевые административные процессы: от формирования расписания и управления помещениями до организации приемной кампании и распределения финансовых ресурсов [6].

Автоматизация рутинных задач с помощью ИИ-решений высвобождает значительные человеческие ресурсы, позволяя сотрудникам концентрироваться на решении стратегических вопросов и повышении качества сервисов для студентов и преподавателей.

Вызовы и сложности интеграции ИИ в академическую среду

Активное распространение технологий ИИ, в особенности генеративных моделей, вывило ряд сложностей, требующих комплексного решения для устойчивого развития

цифровой образовательной среды. Преодоление этих вызовов становится необходимым условием для полноценной реализации потенциала ИИ в высшем образовании.

Распространение генеративных моделей ИИ вызвало необходимость формирования прочной нормативно-правовой и этической базы их применения. Перед вузами встает комплексная задача разработки четких регламентов, определяющих допустимые границы использования ИИ в учебном процессе и научной деятельности. Российские университеты активно вводят регламенты и контрольные механизмы для обеспечения прозрачности и академической честности [7].

Особенную актуальность приобретает развитие технологий идентификации контента, созданного при помощи ИИ. Совершенствование детекторов машинного текста становится важнейшим элементом системы обеспечения академической добросовестности [7]. Параллельно разворачиваются масштабные образовательные кампании, направленные на формирование у преподавателей и студентов цифровой этики и понимания принципов ответственного использования ИИ. Эти меры позволяют минимизировать риски злоупотреблений и плагиата, сохраняя ценность самостоятельной интеллектуальной деятельности.

Подготовка и повышение квалификации преподавательского состава

Повышение квалификации преподавателей выступает ключевым фактором успешной цифровой трансформации в вузах. Курсы, семинары, педагогические мастерские направлены на освоение компетенций работы с ИИ, понимание рисков и возможностей новых технологий [4]. Это создает фундамент для устойчивого развития системы образования, учитывающей как научные достижения в области ИИ, так и практические задачи учебного процесса. Без преодоления кадрового разрыва и формирования цифровой грамотности педагогов эффективное внедрение даже самых передовых инструментов может быть затруднено.

Особое значение приобретает развитие навыков методического проектирования с интеграцией ИИ-технологий. Преподаватели обучаются не только пользоваться готовыми решениями, но и создавать собственные образовательные продукты на основе искусственного интеллекта, адаптированные к специфике преподаваемых дисциплин. Формируется новое педагогическое сообщество, способное к совместной разработке и обмену лучшими практиками использования ИИ в образовании, что значительно ускоряет процесс цифровой трансформации высшей школы. Таким образом, ИИ способствует комплексной модернизации высшего образования, объединяя технологические инновации с педагогическим мастерством и этическими нормами, формируя новые стандарты качества и доступности образования.

Заключение

ИИ становится ведущей инновацией в высшем образовании, обеспечивая повышение качества учебного процесса и расширение образовательных возможностей. Практические результаты российских университетов демонстрируют, что грамотное использование ИИ существенно улучшает показатели успеваемости и вовлеченности студентов, оптимизирует работу преподавателей и снижает риски отчислений.

Тем не менее, для устойчивого развития ИИ необходим системный комплекс мер, включающий совершенствование этических и правовых основ, развитие инфраструктуры и подготовку квалифицированных кадров. Только в этом случае российские вузы смогут не просто соответствовать мировым стандартам, но и создавать уникальные образовательные продукты, способствующие формированию конкурентоспособных специалистов.

Перспективы ИИ в высшем образовании напрямую связаны с развитием адаптивных и инклюзивных образовательных моделей, обеспечивающих индивидуальный подход и равные возможности для всех категорий студентов. Такой подход позволит подготовить кадры, отвечающие запросам цифровой экономики и вызовам современного общества.

Список использованной литературы

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года / Указ Президента РФ от 10.10.2019 №490. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ai.gov.ru/national-strategy/> (дата обращения: 04.09.2025).

2. НИУ ВШЭ стал абсолютным лидером рейтинга вузов по подготовке кадров для ИИ / Высшая школа экономики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hse.ru/news/expertise/1073558991.html> (дата обращения: 04.09.2025).
3. ИИ в образовании: как преодолеть соблазн готовых решений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hse.ru/news/edu/1038459152.html> (дата обращения: 04.09.2025).
4. Персиянцева С.В. Искусственный интеллект в образовательном пространстве // Стратегии и ресурсы личностно-профессионального развития педагога: современное прочтение и системная практика. 2022. №. 1. С. 212-216.
5. Rabadanova R.S., Seminskaya E.S., Filatov A.M. THE NEGATIVE ASPECTS OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR STUDENTS IN SOLVING INDIVIDUAL EDUCATIONAL TASKS // Applied psychology and pedagogy. 2024. no. 3. Pp. 115–124. DOI: <https://doi.org/10.12737/2500-0543-2024-9-3-115-124>.
6. Softline. Как искусственный интеллект меняет сферу образования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://softline.ru/about/blog/kak-iskusstvennyj-intellekt-menyaet-sferu-obrazovaniya> (дата обращения: 04.09.2025).
7. Рабаданова Р.С., Семинская Э.С., Филатов А.М. Проблемы использования искусственного интеллекта студентом в решении индивидуальных образовательных задач // Прикладная психология и педагогика. 2024. №3. С. 115–124. DOI: <https://doi.org/10.12737/2500-0543-2024-9-3-115-124>.

УДК 003.63:314

ВИДЕТЬ – ЗНАЧИТ УПРАВЛЯТЬ: ДИАГРАММЫ КАК ИНСТРУМЕНТ БИОПОЛИТИКИ

Кравченко Н.А. (магистрант, ИТМО)

Научный руководитель: к.соц.н., доцент Колозарики П.В. (ИТМО)

e-mail: n.kravchenko.sas@gmail.com

Эта статья посвящена анализу диаграмм как инструмента биополитики. В центре внимания оказывается парадоксальная природа диаграммы: она одновременно делает видимым абстрактное и преобразует реальные данные в визуальные формы, доступные для контроля и интерпретации. На материале истории появления диаграмм, а также идей Рэй Чоу, Мартина Хайдеггера и Мишеля Фуко рассматривается их роль в производстве знания и власти. В статье показывается, что диаграммы становятся не только средствами познания, но и механизмами управления обществом.

Ключевые слова: биополитика, диаграммы, визуализация данных, демография, власть.

Природа диаграммы в определённой степени парадоксальна. С одной стороны, предмет их изображения абстрактен – это числа, пропорции, величины, объёмы и т.д. Традиционно считается, что абстрактное не встречается в жизни в такой же мере, в какой встречаются конкретные предметы; на их нельзя непосредственно увидеть. Например, нельзя увидеть смертность в конкретном регионе в определённый год. С другой стороны, особенность диаграмм как раз в том, что они позволяют очень конкретно изобразить эти абстрактности. Главное отличие статистических диаграмм от абстрактных изображений, например, в геометрии, в том, что последние отображают «номотетические принципы, абстрактные математические функции или точные применения общих принципов к эмпирической проблеме», в то время как первые являются идиографическими изображениями – картой конкретно существующих исторических явлений [1]. Другими словами, геометрические диаграммы непосредственно переносят виртуальное, абстрактное в реальное; тогда как статистические диаграммы отражают данные, перенесённые из реального в виртуальное и «возвращают» их в реальное посредством изображения. Эта особенность делает статистические диаграммы (далее: диаграммы) мощным инструментом визуализации, и, как следствие, познания и управления реальностью. Актуальность диаграмм проявилась особенно ясно во время пандемии COVID-19, когда для изолированных людей она «существовала» только в формах диаграмм. В данной работе будет рассмотрена роль диаграмм как инструмента биополитики. Сначала мы проанализируем диаграммы как вид изображения; затем будет рассмотрена их роль в конструировании власти через книгу *Эпоха мира как цели* Рэй Чоу; наконец, мы интерпретируем всё вышеуказанное через понятие биополитики, введённое Мишелем Фуко.

Несмотря на то, что различные способы визуализации данных существовали со времён Античности, диаграммы в привычном нам виде появились в конце XVIII века. В 1786 году Уильям Плейфэр опубликовал *Коммерческий и политический атлас*, который включал в себя 44 диаграммы. Они отражали социальные и политические эмпирические данные о торговле между Англией и другими странами [1]. Графики позволили наглядно изобразить и, следовательно, представить для анализа большой массив данных. В результате информация становится наглядной, продолжая быть точной. Как писал Плейфэр, с помощью диаграмм «...за пять минут может быть получено так много информации, сколько пришлось бы собирать неделями в таблицах» [1]. Здесь стоит обратить внимание на функцию диаграмм как абстрактных изображений.

Особенность статистических диаграмм как изображения заключается в особом способе репрезентации пространства. В отличие от кинематических диаграмм, где координаты сохраняют физическую соотнесённость, в схемах Плейфэра они получают иные, абстрактные значения. Более того, на многих из них не фигурирует и время – привычный объект проекции на график. Тем не менее, связь этих графиков с реальностью не становится менее сильной от такого «перевода»: графики основаны на эмпирических данных. Диаграммы становятся символами знания, контроля и иерархии: объекты изучения лишены агентности, они не могут ничего противопоставить изучающему их субъекту.

Эти особенности, среди многих других, привели к принятию диаграмм в научном сообществе. Это произошло в середине XIX века одновременно с возникновением демографии как науки [1]. Возникает вопрос: случайно ли это совпадение? Мы вернёмся к этому вопросу ниже, а сейчас предлагаю перейти к роли изображения в знании и во власти.

В эссе «Эпоха мира как цели» Рэй Чоу пишет о ядерной бомбардировке Хиросимы и Нагасаки как о поворотном событии в производстве знания. Чоу утверждает, что с переходом войны в виртуальное измерение авиаудары и мирные региональные исследования стали сторонами одной монеты. Предлагаю рассмотреть её анализ связи знания и изображения. Говоря об изображении ядерного взрыва, Чоу отмечает, что «... [с]амые редкие знания науки стали концептуально демократизированными – то есть легко доступными, воспроизводимыми и передаваемыми – в качестве оружия нападения» [2]. Она пишет, что вся сложная теория, которая стоит за разработкой ядерного оружия, оказалась спрятана за простой формулой $E=mc^2$ и ядерным грибом, который представляется при словах «Хиросима и Нагасаки». Знание этой теории (точнее, ощущение знания, поскольку обывателю формула $E=mc^2$ не поведаёт, как сделать ядерную бомбу) стало общедоступным, и приняло форму опасного оружия.

Эта ситуация создаёт некий парадокс, так как наука одновременно усложняется и упрощается. С одной стороны, её теоретические основания становятся непостижимыми для неподготовленного человека. В то же время он ежедневно пользуется благами, которые созданы благодаря этим теориям (начиная от пульта, заканчивая самолётами) [2]. Этот же анализ непосредственно применим и к диаграммам, которые визуализируют поток «чистых» данных, превращая их в визуальные объекты, о которых легко делать суждения. Непосредственным проявлением этого была недавняя пандемия Covid-19. Ежедневные графики заражений и кривые смертности стали частью не только экспертного, но и массового восприятия реальности. Именно через эти изображения власть демонстрировала необходимость ограничений, карантин, вакцинации, иными словами, биополитики.

Далее Чоу анализирует понятие «эпохи картины мира», которое Мартин Хайдеггер приводит в одноимённом эссе. «Под этим он подразумевает, что процесс (визуальной) объективации стал настолько необходимым в эпоху современных научных исследований, что понимание – «осмысление» и «постижение» мира – теперь является актом, неотделимым от акта видения – от определенной формы «изображения», – интерпретирует его эссе Чоу [2]. Иными словами, в современном контексте видеть – значит управлять.

Итак, для власти понятие изображения стало синонимично знанию и контролю. Неслучайно уже в послевоенное время в США стали распространены департаменты изучения Японии. Будучи продолжением милитаристской политики, департаменты региональных исследований позволяли «увидеть цель». А в эпоху мира как цели, «...как только ты видишь цель, ты можешь её уничтожить» [2].

Такая риторика уничтожения, «права меча» характерна для власти суверена. Говоря о суверене, стоит обратиться к лекциям Мишеля Фуко. Как пишет Фуко, до XIX века власть строилась на дисциплинарных мерах: суверен мог забрать жизнь или позволить жить [3]. В таком строе инструменты регулирования общества направлены на индивидов: наблюдения, тренировки, отчёты: «Чтобы быть более конкретным, я бы сказал, что дисциплина пытается управлять множеством людей в той мере, в какой их множество может и должно быть преобразовано в отдельные тела, которые можно держать под наблюдением, обучать, использовать и, если нужно, наказывать».

Однако в XIX веке появляется новая технология управления, и начинает сосуществовать с дисциплинарной властью. Этот механизм называется «биовласть» (biopower). Вместо традиционной власти суверена, она «заставляет жить» или «позволяет умереть» [3]. Она не индивидуализирует, а обобщает людей как вид. «Именно эти процессы – рождаемость, смертность, продолжительность жизни и так далее – вместе с целым рядом связанных с ними экономических и политических проблем стали во второй половине XVIII века первыми объектами познания биополитики и целями, которые она стремится контролировать», – пишет Фуко [3].

Иными словами, биополитика фокусируется не на человеке как индивидуальности, а как носителе статистически значимых признаков, через которые определяется масса общества. В этом смысле возникновение и развитие демографии тесно связано со становлением биополитики: первая предоставляет язык и инструменты для того, чтобы вторая могла мыслить «население» как особую категорию. Именно в XVIII–XIX веках рождаются практики систематического учёта смертности, рождаемости и болезней, которые делают жизнь и смерть доступными для измерения и регулирования. Диаграммы, возникающие в этот период, выступают символом и *техническим механизмом* упорядочивания хаоса жизненных событий в управляемые ряды. В дальнейшем этот механизм станет основой для новых форм биополитической власти, включая пандемийные и военные режимы XX–XXI веков.

Таким образом, биополитика управляет социумом на более общем уровне. Однако для осуществления такой власти необходимы механизмы отслеживания, вследствие чего появляется демография, которая рассматривает рождаемость и смертность не как случайные события в жизни отдельных людей, а как постоянные *эндемы*, постоянно существующие в обществе. Диаграммы в этом плане являются символами биополитики в той же мере, в какой ядерный взрыв – символом суверенной власти – визуальной репрезентацией, смыслом, стоящим за явлением. Они сужают расстояние между обыденным и непознаваемым, *гигантским*, как это называет Хайдеггер. Более того, они буквально становятся инструментами биополитики, позволяя власти *представить картину* населения, чтобы управлять им. Таким образом, диаграммы выступают не только инструментом биополитики, но и её символическим выражением.

Список использованных источников

1. Biderman, A.D. The Playfair Enigma: The Development of the Schematic Representation of Statistics // Information Design Journal. 1990. Т. 6, № 1. Pp. 3–25.
2. Chow R. The Age of the World Target: Self-Referentiality in War, Theory, and Comparative Work. – Durham, NC: Duke University Press, 2006. 144 p.
3. Foucault M. Society Must Be Defended: Lectures at the Collège de France, 1975–1976. – New York: Picador (St. Martin's Press), 2003. 336 p.

УДК 331.538.2

КОММУНИКАЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ HR-БРЕНДИНГА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КАДРОВ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ КОМПАНИИ

Романовская В.А. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: Савченко А.В. (ИТМО)

e-mail: w.a.romanowa@gmail.com

В работе исследуются коммуникационные стратегии HR-брендинга в фармацевтической отрасли как ключевой инструмент привлечения и удержания высококвалифицированных кадров. Анализируется влияние сильной корпоративной культуры на формирование ценностного предложения работодателя (EVP) и конкурентоспособности компаний. Рассматриваются особенности рынка труда в фармацевтике, актуальность применения интегрированных цифровых платформ, социальных сетей и корпоративных медиа для трансляции HR-бренда.

Ключевые слова: HR-бренд, коммуникационная стратегия, фармацевтическая отрасль, привлечение кадров, корпоративная культура, продвижение фармацевтических компаний.

Современный фармацевтический сектор функционирует в условиях высокой конкуренции не только на рынке продукции, но и на рынке труда [1]. Отрасль сталкивается с хронической проблемой высокой текучести и острого дефицита квалифицированных кадров. Данные указывают на высокую интенсивность трудовой мобильности: ежегодно рабочее место меняют не менее 18% работников, а до 40% новых сотрудников покидают компанию в течение первого года работы. Эта ситуация приводит к прямым экономическим потерям, связанным с затратами на поиск, найм и адаптацию персонала. В последние годы произошел фундаментальный сдвиг в сторону «рынка соискателя», где кандидаты активно выбирают работодателя. В этих условиях традиционные методы привлечения, основанные преимущественно на материальной мотивации, теряют свою эффективность. Ключевую роль в удержании персонала начинают играть нематериальные факторы: сильный бренд работодателя, корпоративная культура и возможности для развития. Таким образом, разработка и внедрение коммуникационных стратегий HR-брендинга становится стратегической необходимостью для обеспечения стабильного развития фармацевтических компаний [2].

HR-бренд (бренд работодателя) – это имидж компании в глазах целевой аудитории, который формируется на основе корпоративной культуры, системы коммуникаций и уникальных преимуществ работодателя [3]. Сила HR-бренда напрямую зависит от силы корпоративной культуры, которая представляет собой систему материальных и духовных ценностей, норм и моделей поведения, разделяемых большинством сотрудников. Именно корпоративная культура определяет сущность ценностного предложения работодателя (EVP – Employee Value Proposition) – той нематериальной составляющей, которую компания предлагает сотрудникам помимо материального вознаграждения [4]. EVP включает в себя условия труда, возможности развития, компенсации и другие аспекты, которые отличают компанию от конкурентов.

Сильная корпоративная культура выполняет ряд ключевых функций: имиджевую, создавая положительный образ компании; мотивационную, повышая вовлеченность сотрудников; идентифицирующую, позволяя работникам ощущать себя частью команды; и адаптивную, ускоряя интеграцию новых сотрудников. В ее структуру входят такие элементы, как фирменный стиль, миссия и ценности, традиции и ритуалы, а также корпоративная мифология [5]. Эффективность этих элементов напрямую влияет на успех всей организации.

Брендинг фармацевтического предприятия имеет свои отличительные признаки, связанные с особенностями сферы. Корпоративная культура в такой компании должна быть ориентирована на научные достижения, инновации, качество продукции и безопасность пациентов [6]. Можно выделить несколько ключевых аспектов, которые должен транслировать HR-бренд в данной отрасли:

1. Безопасность и этика. Фармацевтические предприятия следуют строгим этическим принципам и регуляторным требованиям. Бренд работодателя должен транслировать приверженность этим ценностям на широкую аудиторию.

2. Научноориентированность. Современные компании переходят от производства дженериков к собственным разработкам. HR-бренд должен отражать возможности для сотрудников в области исследований, стимулировать научные инициативы и непрерывное повышение квалификации.
3. Командная работа. Комплексные задачи в фармацевтике требуют тесного сотрудничества между отделами и партнерами. Корпоративная культура должна поощрять взаимодействие и обмен информацией.
4. Обучение и развитие. Фармацевтическая индустрия – динамичная область. Бренд работодателя должен привлекать специалистов, для которых важно непрерывно улучшать свои навыки и работать в развивающейся, конкурентоспособной компании [7].

Для успешной трансляции этих ценностей используются современные каналы коммуникации: карьерные сайты, социальные сети, участие в профессиональных конференциях, корпоративные медиа (блоги, подкасты, внутренние журналы) и программы амбассадорства, в рамках которых сотрудники делятся личным опытом и выступают представителями бренда.

Привлечение молодых специалистов особенно зависит от сильного и позитивного HR-бренда, который формирует образ компании как привлекательного места работы, повышая интерес и доверие поколений Y и Z [8]. В условиях цифровизации бизнеса для формирования бренда работодателя используются современные каналы коммуникации, такие как карьерные сайты, социальные сети, участие в конференциях, корпоративные медиа и программы амбассадорства [9].

Для анализа коммуникационных стратегий были выбраны три ведущие российские фармацевтические компании: ГЕРОФАРМ, BIOCAD и SOLOPHARM. Был проведен сравнительный контент-анализ их открытых коммуникационных материалов, ориентированных на потенциальных сотрудников.

ГЕРОФАРМ, миссия которой заключается в том, чтобы делать здоровье доступным для каждого, выстраивает свой HR-бренд на ценностях страсти, амбициозности и ответственности [10]. Компания делает акцент на усилении эмоциональной вовлеченности аудитории через обновление EVP и внедрение амбассадорских практик. В ее коммуникациях активно используются интервью с сотрудниками, анонсы стажировок и вакансий [11]. Значительное внимание уделяется корпоративному спорту и благотворительности, что формирует образ социально ответственного работодателя. Основными каналами коммуникации выступают официальный сайт, карьерный портал и сообщество ВКонтакте.

BIOCAD ставит своей миссией улучшение и продление жизни людей. Ее HR-бренд сфокусирован на научной идентичности и цифровых каналах взаимодействия. Ценности компании – команда, честность, осознанность, вовлеченность и саморазвитие – активно транслируются через карьерный портал с удобной системой фильтров и сообщества в социальных сетях. Основной вектор развития компании направлен на повышение прозрачности карьерных возможностей и снижение барьеров для входа в научную среду [12]. Это позволяет формировать устойчивый интерес среди профильных соискателей, в том числе за рубежом. Компания также известна своими благотворительными акциями, именными стипендиями и волонтерскими проектами.

SOLOPHARM, относительно молодая компания, строит HR-бренд вокруг корпоративной культуры и гибкости. Миссия компании – создавать качественные, современные и доступные препараты [13]. Ее подход можно охарактеризовать как человекоцентричный, ориентированный на внутреннее удержание сотрудников. Основное внимание уделяется адаптации новых сотрудников и поддержке лояльных специалистов. Компания приветствует разнообразие опыта и поощряет развитие. Коммуникационная стратегия включает анонсы стажировок, вакансий и выпуск подкаста о здоровье, что формирует образ открытого и адаптивного работодателя.

Проведенное исследование подтвердило ключевую роль HR-брендинга в решении проблемы острого кадрового дефицита в российской фармацевтике. Анализ показал, что

сильная корпоративная культура является фундаментом для ценностного предложения работодателя, а ведущие компании активно выстраивают коммуникационные стратегии, делая акцент на социальной миссии, инновациях и возможностях для роста [14]. Наиболее релевантными инструментами для трансляции HR-бренда являются интегрированные цифровые платформы, социальные сети и корпоративные медиа. Стратегическое управление HR-брендом — необходимое условие для обеспечения фармацевтической отрасли талантливыми и мотивированными специалистами. Дальнейшие исследования могут быть направлены на количественную оценку влияния HR-бренда на бизнес-показатели и сравнительный анализ с практиками международных компаний.

Список использованных источников

1. Каткова Я.Е., Меньших А.С. Трудовая мобильность на фармацевтическом рынке // Политика, экономика и инновации. 2018. №. 1 (18). С. 12.
2. Кадровый вызов 2025: как фармпроизводствам найти и удержать сотрудников [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pharmprom.ru/kadrovyy-vyzov-2025-kak-farmproduzvodstvam-najti-i-uderzhat-sotrudnikov/> (дата обращения: 09.06.2025).
3. Спивак В.А. Корпоративная культура. 2008. 352 с.
4. Вафина Ш.Р. Корпоративная культура как элемент HR-бренда организации // Аспирант. 2021. № 5. С. 72–76.
5. Бабаева А.В. Деловое общение и деловой этикет. – Санкт-Петербург: Петрополис, 2019. 192 с.
6. Upadhyaya M., Ayari A. Relationship between employer branding, employee retention and commitment in pharmaceutical industry: An empirical investigation // Proceedings on Engineering Sciences. 2019. Т. 1. №. 2. Pp. 501–519.
7. Карьера в компании «Герофарм». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geropharm-career.ru> (дата обращения: 10.06.2025).
8. Kaleli B., Yalçın B. Analysis of five factor personality traits and work values within the scope of generations theory // Hitit University Journal of Social Sciences. 2021. Т. 14. №. 1. С. 87–109.
9. Будрин А.Г., Солдатова А.В., Емцова М.Г. Развитие hr-брендинга в условиях цифровизации бизнеса // Экономика и экологический менеджмент. 2021. №. 2. С. 30–36.
10. Рейтинг работодателей. Группа компаний «Герофарм» вошла в список лучших работодателей России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spb.plus.rbc.ru/news/669616027a8aa90f8da8ca34> (дата обращения: 10.06.2025).
11. Barros-Arrieta D., García-Cali E. Internal branding: conceptualization from a literature review and opportunities for future research // Journal of Brand Management. 2021. Т. 28. № 2. Pp. 133–151.
12. Карьерный портал компании «Биокад». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://career.biocad.ru> (дата обращения: 10.06.2025).
13. Вакансии и карьера в компании «Солофарм». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://solopharm.com/career> (дата обращения: 10.06.2025).
14. Белкина Ю.С., Подгорнова А.С., Башкатова Ю.И. Бренд работодателя как искусство привлечения сотрудников // Научные исследования: от теории к практике. 2016. № 1. С. 251–254.

УДК 004.58

КОГНИТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ВОЗРАСТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДИЗАЙН ИНТЕРФЕЙСОВ

Шадрина А.В. (студент, ИТМО)

Научный руководитель – инженер Лаврова А.К. (ИТМО)

e-mail: alexasha04@list.ru

В статье рассматривается влияние когнитивных особенностей пользователей разных возрастных групп на восприятие и использование цифровых интерфейсов. Показано, что различия в памяти, внимании и скорости обработки информации напрямую определяют требования к дизайну: от минималистичных и гибких решений для молодежи до простых, контрастных и линейных структур для пожилых пользователей. На основе анализа сформирован набор критериев, позволяющий создавать интерфейсы с учетом возрастных различий, повышающие доверие к цифровым сервисам.

Ключевые слова: когнитивные особенности, возрастная адаптация, интерфейс, цифровые сервисы, доступность, адаптивный дизайн.

В последние годы цифровые сервисы становятся ключевым каналом доступа к различным социальным услугам, важнейшими из которых являются медицина и образование. Использование цифровых сервисов охватывает всё более широкие слои населения, включая не только молодых людей, но и пожилых пользователей. При этом доверие к цифровым сервисам напрямую связано с качеством пользовательского опыта (UX), который зависит не только от технической реализации сервиса, но и от того, насколько его интерфейс соответствует когнитивным возможностям и привычкам разных возрастных групп. Несмотря на уже накопленные знания по вопросу адаптивности интерфейса для разных пользовательских групп, в практике разработки интерфейсы зачастую проектируются в так называемом среднем варианте, который призван выполнять роль компромисса, однако не удовлетворяет ни молодых, ни пожилых пользователей: для первых он перегружен деталями и производит впечатление устаревшего, для вторых – кажется слишком сложным и нечитабельным. Это указывает на недостаточную адаптацию существующих подходов к многообразию особенностей пользователя – возникает необходимость систематизировать различия в характеристиках восприятия разных возрастных групп (память, внимание и так далее) и определить требования к интерфейсам, которые обеспечат ясность, простоту и повышение уровня доверия. Цель данного исследования состоит в определении когнитивных различий между молодыми и пожилыми пользователями и формулировании набора критериев, позволяющих создавать интерфейсы с учетом возрастных особенностей.

Основная задача исследования заключается в выявлении и систематизации особенностей когнитивных процессов у молодежи, людей среднего возраста и пожилых, сопоставлении особенностей с требованиями к интерфейсам и определении итоговых критериев для их разработки с учетом адаптивности к возрастным различиям. Авторы статьи “Interface Design for Products for Users with Advanced Age and Cognitive Impairment” отмечают, что возраст существенно влияет на восприятие интерфейсов: снижение скорости обработки информации и памяти у пожилых пользователей напрямую связано с усложнением взаимодействия с цифровыми сервисами [1]. Если рассматривать группу молодежи (18–30 лет), можно сказать, что пользователи данной группы обладают высокой скоростью обработки информации, развитой оперативной памятью и способностью к многозадачности. Согласно исследованиям в области HCI, молодые пользователи быстрее осваивают новые интерфейсные паттерны, легко адаптируются к изменениям и не испытывают затруднений с поиском скрытых функций [2]. Для этой группы приоритетными становятся минимализм, эстетическая выразительность и гибкая навигация, что подтверждается практикой современного веб- и мобильного дизайна, где минималистичные интерфейсы ориентированы именно на молодую аудиторию. Что касается лиц среднего возраста (30–55 лет), пользователи этой группы сочетают опыт использования цифровых технологий с высокой когнитивной устойчивостью. В отличие от молодежи они более чувствительны к предсказуемости и структурированности интерфейса.

Исследования в области age-friendly UX, проведенные авторами Chen и Liu, показывают, что для данной категории лучше подходят решения с ясными инструкциями и логичной навигацией, чем чрезмерно «модный» или экспериментальный дизайн [1]. Лица, относящиеся к этой возрастной группе, выступают наиболее активными пользователями сервисов в сфере финансов, образования и работы, поэтому интерфейсы должны помогать быстро и безошибочно выполнять задачи, минимизируя когнитивную нагрузку. Рассматривая группу пользователей старшего возраста (60+ лет), в качестве когнитивных особенностей отмечаются снижение уровня кратковременной памяти, уменьшение скорости обработки информации и ухудшение зрительного восприятия. В отчете Nielsen Norman Group отмечается, что пожилые пользователи особенно остро реагируют на малый размер шрифта, недостаточную контрастность и наличие скрытого функционала, который сложно обнаружить без специальных подсказок [3]. Подобные выводы находят подтверждение в вышеупомянутых эмпирических работах Chen и Liu, где были выявлены наиболее характерные барьеры для пожилых пользователей: сложность произведения операций на сайте и чрезмерная нагрузка на внимание [1]. Также проблемы возрастных людей описываются в пилотном исследовании Haesnar et al.: показано, что пожилые пользователи с легкими когнитивными нарушениями значительно медленнее ориентируются в веб-интерфейсах и чаще допускают ошибки, особенно в условиях, когда теряют структурную ориентацию на сайте [4]. Так, анализ когнитивных особенностей демонстрирует значительные различия между возрастными группами, которые напрямую влияют на восприятие интерфейсов. Молодёжь легко справляется с гибкими и минималистичными решениями, такими как, например, скрытые функции; пользователи среднего возраста требуют структурности и ясности, а пожилым необходимы повышенный контраст, крупный шрифт и простая линейная навигация. Эти результаты подтверждаются как экспериментальными исследованиями, так и практикой в области UX-дизайна, что обосновывает необходимость разработки адаптивных интерфейсов с учетом когнитивных различий.

Сопоставляя выявленные когнитивные особенности с требованиями к интерфейсам, рассмотрим более подробно такие основные элементы, как шрифт, контраст, навигация, подсказки и общий стиль. Говоря о шрифте, молодые люди обычно комфортно воспринимают текст размером 12-14 пт, поскольку чаще всего обладают хорошим зрением и высокой скоростью чтения; пожилые же пользователи требуют более крупного шрифта, не менее 16 пт, и достаточный межстрочный интервал. Как отмечается в рекомендациях по визуальному дизайну Yale Usability, увеличение кегля и межстрочного интервала значительно повышает читаемость и снижает нагрузку на зрение для возрастной аудитории [5]. Это подтверждается рекомендациями по доступности и исследованиями, показывающими значительное улучшение визуального комфорта и составляющих UX за счет крупного текста; более того, данные Moldstud показывают, что большинство пользователей, независимо от возраста, предпочитает шрифты размером 16–18 пт для удобства чтения, что отлично соответствует потребностям пожилой аудитории [6]. Что касается контрастности, пользователи молодой возрастной группы, как правило, более толерантны к пастельным и низко контрастным цветовым схемам, в то время как возрастным пользователям необходим высокий контраст, чтобы распознавать элементы интерфейса без напряжения. Согласно данным Interaction Design Foundation, низкий контраст резко снижает скорость и точность чтения, особенно у людей с возрастными изменениями зрения [7]. Навигация является одним из важнейших элементов интерфейса. Молодые пользователи легко ориентируются в скрытых меню, многослойных переходах и инновационных паттернах. Однако, как отмечается в статьях MDPI и Adchitects, пожилым пользователям требуется линейная, простая и предсказуемая навигация – плоская структура меню и явные текстовые метки [8, 9]. Исследования также указывают, что скрытые меню ухудшают обнаруживаемость, увеличивают время выполнения задачи и воспринимаемую сложность. Отдельного внимания заслуживает использование анимаций. Согласно публикации в Medium, анимации, особенно короткие и небольшие, быстро подтверждающие действие или обеспечивающие визуальную обратную связь, делают интерфейс более понятным и

эмоционально привлекательным для молодых пользователей [10]. В то же время более старшей возрастной группе, как отмечает публикация Adchitects, необходимы явные текстовые инструкции и подсказки на каждом шагу, чтобы компенсировать снижение оперативной памяти и снизить когнитивную нагрузку, что помогает им уверенно взаимодействовать с интерфейсом [9]. Рассматривая общий стиль интерфейса, как уже было сказано выше, молодежь ценит минимализм, эстетику и гибкость – лаконичные интерфейсы, скрытые, но доступные функции. Пожилые пользователи, как подчеркивает упомянутый ранее портал Adchitects, предпочитают простоту, ясность и предсказуемость – отсутствие визуального шума, понятные иконки с текстовыми подписями [9].

Одним из примеров адаптированных интерфейсов, как утверждает Джонатан Грувер в статье “Adapting UX/UI Design for Older Population”, является веб-сайт американской ассоциации пенсионеров (AARP), чей сайт ориентирован на пожилую аудиторию [11]. Используется крупный шрифт, высококонтрастные цветовые схемы и упрощенная навигация. Особое внимание уделено снижению когнитивной нагрузки: предоставляются пошаговые инструкции и простой доступ к наиболее часто используемым функциям. В качестве же примера адаптируемого интерфейса можно привести приложение Necta Launcher, нацеленное на изменение встроенного интерфейса Android на более ясный, с крупными кнопками, яркими цветами и минималистичной навигацией. Это решение помогает легче ориентироваться в смартфоне и выполнять основные действия без лишних усилий и нагрузок, благодаря чему мобильными телефонами удобно пользоваться и детям, и пожилой аудитории. Однако в случае Necta Launcher интерфейс изначально не подстраивается под человека, в связи с чем задел на будущее исследование включает в себя в том числе понимание процесса автоматизации данной настройки. Перед проведением подобного исследования же необходимо определить, какие элементы и по каким критериям подлежат настройке.

Опираясь на проведенный анализ когнитивных особенностей пользователей разных возрастных групп, примеры адаптивных интерфейсов и выявленные требования к ним, можно сформулировать набор критериев для создания интерфейсов с учетом особенностей возраста. Так, для молодежи (18–30 лет) следует учесть следующее:

- современная эстетика, минимализм, лаконичные визуальные элементы,
- гибкая фильтрация и умные подсказки (короткие микро-анимации, визуальная обратная связь),
- возможность быстрого доступа к скрытым функциям навигации,
- адаптивная структура, допускающая многозадачность и быстрый переход между разделами.

Для пользователей среднего возраста (30–55 лет):

- предсказуемая и структурированная навигация, ясные инструкции на каждом шагу,
- баланс между эстетикой и функциональностью,
- подсказки при необходимости: текстовые пояснения и подтверждение действий,
- логичные иконки, последовательная структура.

Для пожилых пользователей (от 60 лет):

- крупный шрифт (от 16 пт) и высокий контраст элементов,
- линейная, простая и предсказуемая навигация без лишних уровней и скрытых меню,
- простые, наглядные иконки с текстовыми подписями,
- минимальный визуальный шум, ясность интерфейса, логичная структура.

Объединяя требования для универсального подхода, можно выделить настраиваемый размер шрифта для разных возрастных групп, внедрение опции простого интерфейса для пользователей, которым нужна четкая структура, наличие явной обратной связи (уведомления, подтверждение действий, визуальные и текстовые подсказки).

В результате исследования были проанализированы работы, посвященные когнитивным особенностям пользователей различных возрастных групп, а также существующие подходы к разработке адаптивных и адаптируемых интерфейсов. Было выявлено, что молодые и пожилые пользователи предъявляют разные требования к дизайну цифровых интерфейсов. По

итогах проведенного исследования был сформулирован набор критериев для создания последних с учетом ожиданий аудитории разных возрастов, а также составлены требования для универсального подхода. Однако, хотя универсальный дизайн остается полезным инструментом, позволяя частично удовлетворить потребности разных групп, можно сделать вывод о том, что для повышения доверия и эффективности взаимодействия необходимо внедрение возрастно-адаптивных интерфейсов, учитывающих различия в памяти, внимании и скорости обработки информации. Перспективными направлениями дальнейших исследований является разработка динамических интерфейсов, способных автоматически подстраиваться под когнитивные возможности пользователя, а также проведение эмпирических испытаний для оценки их эффективности в реальных цифровых сервисах.

Список использованных источников

1. Chen L.H., Liu Y.C. Interface Design for Products for Users with Advanced Age and Cognitive Impairment // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Т. 19. №. 4. Р. 2466.
2. Liu H. et al. Study on the differences of icon cognition of graphical interface for age-friendly design //Journal of Gerontological Social Work. 2023. Т. 66. №. 5. Pp. 662–679.
3. Nielsen Norman Group. UX Design for Seniors (Ages 65 and older). – 3rd ed. – Fremont, CA: Nielsen Norman Group, 2013. 223 p.
4. Haesner M., Steiner, A., O'Sullivan J.L. и Steinhagen-Thiessen E. Evaluating an accessible web interface for older adults – the impact of mild cognitive impairment (MCI) // Journal of Assistive Technologies. 2015. №. 9(4). Pp. 219–232.
5. Usability.yale.edu. Usability Best Practices. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://usability.yale.edu/usability-best-practices/visual-design> (дата обращения: 08.09.2025).
6. Moldstud.com. How Typography Influences UX in Design. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moldstud.com/articles/p-understanding-the-impact-of-typography-in-user-experience> (дата обращения: 09.09.2025).
7. Interaction-design.org. Readability in UX Design. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/readability-in-ux-design?srltid=AfmBOoqjCmJAhhqnhTO2UMMI6R0O5aXQVMVqFGuzxNvvIEQYbOGw7clU> (дата обращения: 09.09.2025).
8. MDPI. Information Journal, 2023, Vol. 15, Issue 11, Article 732. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2078-2489/15/11/732> (дата обращения: 09.09.2025).
9. Adchitects.co. Guide to Interface Design for Older Adults. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adchitects.co/blog/guide-to-interface-design-for-older-adults> (дата обращения: 09.09.2025).
10. Medium.com. The Impact of Microinteractions and Animations on User Experience, 21.07.2023. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/design-bootcamp/the-impact-of-microinteractions-and-animations-on-user-experience-b7910d3322b4> (дата обращения: 09.09.2025).
11. Gruver J. Adapting UX/UI Design for Older Population: A Dynamic Interface of Opportunity. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/@jgruver/adapting-ux-ui-design-for-older-population-a-dynamic-interface-of-opportunity-ee4ca3ae05a4> (дата обращения: 09.09.2025).

УДК 004.58

ИНТЕРФЕЙСЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ВЕБ-СИСТЕМ: ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ АСПЕКТОВ И КЕЙС ОНЛАЙН-ШКОЛЫ

Шемелева Е.С. (студент, ИТМО)

Научный руководитель – инженер Лаврова А.К. (ИТМО)

e-mail: elizaveta.shemeleva@gmail.com

В статье проведён анализ когнитивных аспектов проектирования интерфейсов образовательных веб-систем для детей младшего школьного возраста на основе принципов Child-Computer Interaction (CCI). Рассмотрены современные исследования, подчеркивающие важность адаптивности, эмоционального дизайна и минимизации когнитивной нагрузки. На примере кейса онлайн-школы программирования «Codesaurs» показано практическое применение теорий когнитивного развития, теории потока и социокультурных подходов для создания эффективной и мотивирующей образовательной среды. Особое внимание уделено визуальному оформлению, навигации, геймификации и безопасности. Итоги подтверждают значимость интеграции когнитивных, эмоциональных и социальных факторов для повышения качества обучения.

Ключевые слова: образовательные веб-системы, Child-Computer Interaction, когнитивные аспекты, адаптивный интерфейс, геймификация, инклюзивный дизайн, онлайн-школа, разработка интерфейсов, дети младшего школьного возраста.

В современном цифровом мире онлайн-образование переживает период беспрецедентного роста и трансформации, особенно активно развиваясь в сегменте детского образования. Несмотря на широкое распространение образовательных веб-систем, большинство существующих решений изначально ориентировано на взрослую аудиторию и лишь впоследствии адаптируется для детей. Это приводит к значительным проблемам удобства использования: образовательные интерфейсы часто предоставляют детям избыточное количество информации одновременно, вызывая когнитивную перегрузку. Такие интерфейсы усложняют навигацию по многоуровневым меню и иерархическим структурам, что критично для детей в возрасте 7–10 лет, у которых еще не сформированы навыки абстрактного мышления. Отсутствие адекватной обратной связи и непонятные пользовательские метафоры создают дополнительные препятствия для эффективного и мотивирующего обучения. В свете этих вызовов усиливается необходимость применения когнитивных и психологически обоснованных подходов при проектировании образовательных интерфейсов, способствующих оптимизации восприятия, снижению нагрузки и поддержке детской учебной деятельности.

Подходы Child-Computer Interaction (CCI) изучают специфические особенности взаимодействия детей с компьютерными системами с акцентом на когнитивное развитие и психологические аспекты. Согласно теории когнитивного развития Жана Пиаже, дети в возрасте 7–10 лет находятся на стадии конкретных операций, характеризующейся ограниченной рабочей памятью, способной удерживать одновременно 5–7 элементов. Это обстоятельство накладывает особые требования на дизайн интерфейсов – необходимость минимизации когнитивной нагрузки и четкой организации визуальной информации через знакомые образы и простые метафоры [4].

Важным аспектом является выбор цветовой палитры и типографики: синий цвет способствует концентрации, зелёный ассоциируется с подтверждениями, а оранжевый стимулирует творческое мышление. Использование крупных, контрастных шрифтов без засечек и узнаваемых иконок облегчает восприятие. Навигация должна быть простой и плоской, ограниченной 5–7 пунктами, зачастую поддерживаемой визуальными ориентировками, например, в форме карты путешествия или “хлебных крошек” [7, 8].

Геймификация играет ключевую роль в мотивации детей, направляя её на внутреннее развитие и личный прогресс. Нарративные персонажи и социальные механики мотивируют сотрудничество и взаимопомощь, а не конкуренцию, что подтверждается рядом современных исследований [1, 2, 5]. Адаптивный дизайн учитывает индивидуальные особенности ребенка, такие как темп усвоения материала, предпочитаемый тип восприятия (визуальный,

аудиальный, кинестетический), а также признаки усталости и типичные ошибки, обеспечивая тем самым максимальную вовлеченность и результативность обучения.

Помимо когнитивных и мотивационных аспектов, технические характеристики интерфейса существенно влияют на пользовательский опыт: высокая скорость загрузки, использование кэширования, прогрессивной загрузки и ленивого подгружения контента необходимы для удержания внимания ребенка [3]. Методы исследования пользовательских интерфейсов включают адаптированные игровые интервью, сессии совместного проектирования с детьми (co-design) и лонгитюдные наблюдения, что позволяет глубоко понять и учесть эмоциональное и когнитивное восприятие интерфейса.

В рамках разработанного проекта онлайн-школы программирования для детей 7–10 лет "Codesaurs" был реализован комплексный дизайн интерфейса, основанный на интеграции принципов Child-Computer Interaction и специфики обучения младших школьников. Важным принципом проектирования стало ограничение информационной нагрузки — каждый экран содержит не более одной ключевой концепции, а дополнительная информация подается постепенно по мере готовности ребенка ее воспринимать. Этот подход основан на когнитивной теории нагрузки Джона Свеллера, направленной на оптимизацию учебного процесса посредством снижения излишней когнитивной активности [8].

Для повышения вовлеченности и поддержания потока в обучении применены принципы теории Михая Чиксентмихайи, обеспечивающей адаптивную сложность заданий. Система динамически подстраивается под уровень навыков ребенка, предотвращая как фрустрацию от чрезмерных трудностей, так и скуку от недостаточной нагрузки [9]. Социальный контекст и поддержка реализованы через виртуальных помощников и peer-to-peer обучение.

Визуальная составляющая интерфейса выстроена вокруг тематических персонажей — динозавров-программистов, каждый из которых специализируется на отдельной области программирования. Такой образный ряд создает метафору путешествия по доисторическому миру, где образовательные треки представлены в виде карты, а уроки — следами динозавров, символизирующими прогресс в освоении материала. Интерактивные элементы и микроанимации дают визуальный отклик на действия пользователя, подтверждая успех и стимулируя дальнейшее обучение, а плавные анимации переходов помогают лучше понять причинно-следственные связи между элементами интерфейса [6].

Ключевыми разделами интерфейса стали: личный кабинет с карточками курсов и прогресс-барами, каталог курсов со фильтрами, интуитивно понятными детям (по уровню сложности, языку, длительности), и страницы курсов с яркими визуальными блоками, раскрывающими суть курса и информацию о сертификации. Цветовая палитра подобрана так, чтобы она была яркой, но при этом гармоничной и не создающей излишней стимуляции, что позволяет снизить когнитивную нагрузку и повысить вовлеченность обучающихся [7].

В ходе работы было проведено комплексное исследование принципов Child-Computer Interaction (CCI) и их практического применения при разработке интерфейсов образовательных веб-систем для детей. На примере кейса онлайн-школы программирования "Codesaurs" продемонстрирована успешная реализация когнитивного подхода к дизайну, учитывающего особенности восприятия, ограниченную рабочую память и психологические потребности детей 7–10 лет. Внедрение адаптивных механик, геймификации, мультимодальности и инклюзивного дизайна позволило создать интерфейс, который снижает когнитивную нагрузку, повышает мотивацию и вовлеченность учащихся, а также способствует развитию вычислительного мышления и креативности. Техническая оптимизация и игровые элементы обеспечивают комфортный пользовательский опыт с быстрой реакцией системы и наглядной обратной связью. Планируемое пилотное тестирование и сбор обратной связи послужат основой для дальнейшего улучшения и масштабирования платформы. Итогом исследования является подтверждение значимости когнитивного и психологически обоснованного подхода к проектированию образовательных веб-систем, который способен способствовать развитию критического мышления, творческого отношения и готовности детей к жизни в цифровом мире.

Список использованных источников

1. Chen K. An interactive design framework for children's apps for enhancing emotional experience // Interacting with computers. 2022. Т. 34. №. 3. Pp. 85–98.
2. Zahoor I., Lone S. A. Child computer interactions: Cognitive development and segmenting unsafe video contents: A review // Entertainment Computing. 2025. P. 100931.
3. Hourcade J.P. Child-computer interaction //Self, Iowa City, Iowa. 2015. 376 p.
4. Piaget J. et al. The origins of intelligence in children. – New York : International universities press. 1952. Т. 8. №. 5. P. 18.1952.
5. Antle A.N. Research opportunities: Embodied child–computer interaction // International Journal of Child-Computer Interaction. 2013. Т. 1. №. 1. Pp. 30–36.
6. Kheder H.A. Human-computer interaction: Enhancing user experience in interactive systems // kufa Journal of Engineering. 2023. Т. 14. №. 4. Pp. 23–41.
7. Amin A., Shidujaman M., Wang B. Improving HCI on cognition for children with intelligent UI/UX // International Conference on Human-Computer Interaction. – Cham : Springer Nature Switzerland. 2023. Pp. 355–366.
8. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning //Cognitive science. 1988. Т. 12. №. 2. Pp. 257–285.
9. Csikszentmihalyi M. Flow: The psychology of optimal experience. – New York : Harper & Row, 1990. Т. 1990. P. 1.

УДК 004

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОГНИТИВНЫМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Шерстнева А.А. (СПбГУТ)

shers7neva@gmail.com

Предложен алгоритмический подход, объединяющий бизнес- и практико-ориентированные подходы для развития когнитивных образовательных систем. На его основе составлена модель параметров классификации типов обучения. В ее состав вошло сформулированное условие перехода от теоретических знаний к практическим методам их реализации. Основу модели составляет пример работы над конкретным проектом с обозначением роли руководителя, консультанта и генератора идеи проекта. Анализ модели направлен на получение оценки предприимчивости и гибкости обучающихся. Полученные результаты анализа систематизированы и приведены в виде основных положений.

Ключевые слова: алгоритмический подход, образование, анализ, когнитивные способности, мышление, предприимчивость.

Наряду с составлением алгоритма определенных действий для оценки когнитивности образовательных систем, алгоритмический подход подразумевает и включение мыслей на уровне генерации идей. Однако идеи формируются только на основе уже имеющегося опыта практического или исследовательского осмысления. Таким образом, вовлечение студентов университетов в процесс алгоритмизации при выполнении учебных заданий является не только полезной, но и интересной задачей для преподавателей, сотрудников, работодателей, вовлеченных в образовательный процесс. Интерес заключается, во-первых, в непредсказуемости конечного результата выполненных заданий, а во-вторых, в выработке стратегии дальнейших шагов в обучении. В процессе выполнения предлагаемого алгоритма обучения у обучающихся проявляется тяготение к разным предметам и областям науки. У кого-то наблюдается явное повышение когнитивных навыков в направлении технических наук, технических предметов, при решении практических технических задач. Кто-то проявляет себя в программировании и развивает логическое мышление. У кого-то наблюдается явное тяготение к экономическим или социальным наукам. Однако все эти способности ярко проявляются уже непосредственно в процессе обучения. В настоящем материале предлагается рассмотреть разработанную концептуальную модель [1] обучения студентов, где предлагается использовать практико-ориентированный подход при предоставлении когнитивных образовательных услуг. Практико-ориентированный подход заключается в том, что все теоретические выкладки должны подтверждаться конкретными примерами из современной технической или социальной жизни [2, 3]. Например, если для решения конкретной технической задачи необходимо воспользоваться формулами из теории вероятностей, то должно быть дано обоснование присутствия каждой переменной в этой формуле и ее значимость для получения приемлемого результата. Будет этот результат точным на сто процентов или приблизительным с оценкой приближенности [4]. То же самое предполагается использовать и при социальном оценивании. Ведь социальная оценка это не что иное как оценка когнитивных способностей или, другими словами, оценка возможностей человека не только к элементарной социальной адаптации, но и к совершенствованию, интеллектуальному росту, предприимчивости, деловитости, инициативности. То есть практико-ориентированный подход в конечном итоге приведет к переосмыслению применения уже известных результатов к еще только предполагаемым или только замышляемым результатам и поможет процессу преобразования идей в конкретные действия для их реализации.

Итогом анализа рабочих программ дисциплин и фонда оценочных средств стала модель параметров классификации типов обучения, показанная на рисунке. Классификация типов обучения выполнена в направлении оценки предприимчивости обучающихся и гибкости обучающихся сотрудников, преподавателей. Согласно этой квалификации, преподаватели

должны обладать свойством подстраивания, корректировки учебных программ под современные реалии производства. Но, в то же время, не слепо следовать за производственными нуждами, а предлагать свои решения на опережение исходя из собственных знаний, опыта и образа мышления.

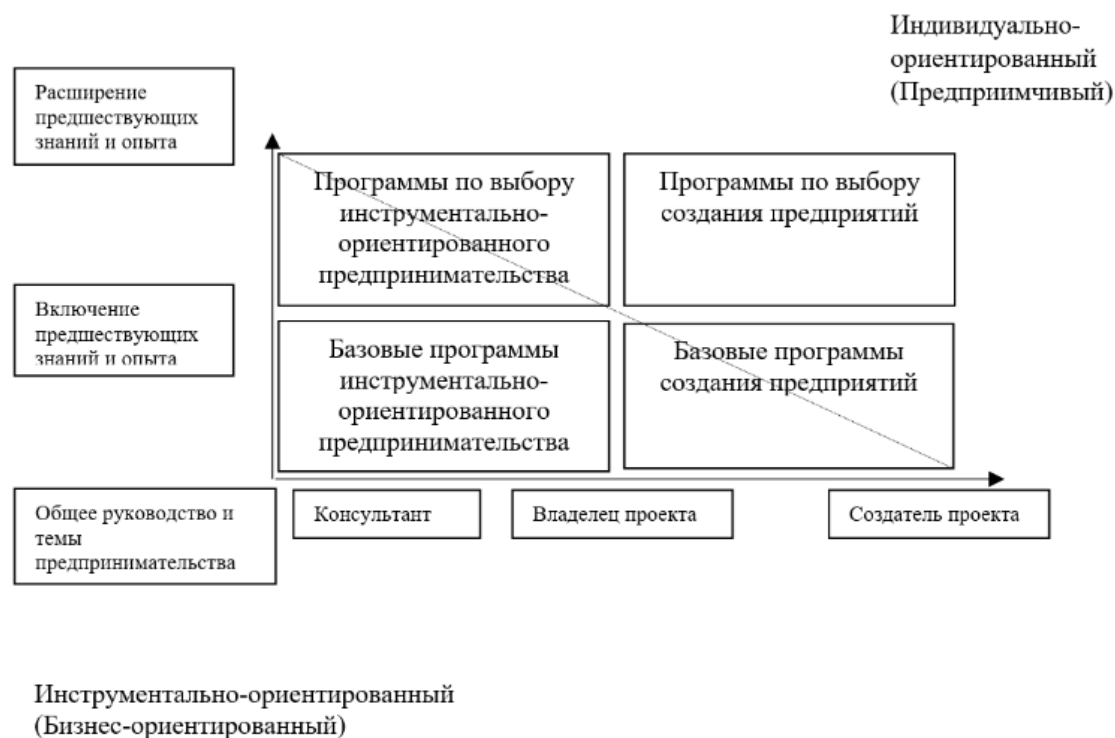


Рисунок. Модель параметров классификации типов обучения

В состав модели входит условие перехода от теоретических знаний (левый нижний угол) к практическим методам их реализации (правый верхний угол). Основу модели составляет пример работы над конкретным проектом, с обозначением роли руководителя, консультанта и создателя (генератора идеи) проекта.

В фонде оценочных средств рабочих программ дисциплин необходимо предусмотреть как выбор подходящей тематики для выделенных направлений, так и методы или возможности для оценки и расширения полученных практических навыков и опыта работы в целом.

К полученным результатам анализа предложенной модели следует отнести:

- приобретаемые в процессе обучения навыки направлены на существующую бизнес-среду и на чувство предпримчивости для создания новых перспектив;
- методы обучения могут быть теоретическими и с практической направленностью;
- к результатам освоения дисциплин относятся самозанятость, самооценивание и воспитание творческих самостоятельных личностей.

Теоретические аспекты любого учебного направления можно преподавать студентам, обучающимся на разных факультетах. Например, студентам, обучающимся на техническом факультете можно и нужно преподавать теоретические знания основ экономики, статистики, юриспруденции. И наоборот, студенты экономического факультета должны обладать знаниями конкретной предметной области. Однако предлагаемые в концептуальной модели [1] два подхода к реализации учебных программ все же относятся к разным группам обучаемых. Бизнес-ориентированный подход предполагается использовать при подготовке целевых групп студентов. Другими словами, при подготовке вполне определенных специалистов в предметной области. Если же целью обучения является получение креативных, творческих, нестандартных личностей, то лучше применить практико-ориентированный подход. В связи с таким разделением будут различаться и когнитивные

навыки и требования к их формированию и оцениванию. Но все же некоторые аспекты обоих подходов взаимодополняемы, поэтому могут быть включены в широкий диапазон межпредметного взаимодействия. В этом смысле разработанная модель (рисункок) позволяет выделить параметры сравнения, по которым впоследствии и можно дать оценку влияния на когнитивный образовательный процесс предложенного алгоритмического подхода.

Список использованных источников

1. Шерстнева А.А. Модель организации управления проектами в учебном процессе. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО №24951 от 21.02.2022.
2. Шерстнева А.А. Управление развитием образования на основе анализа приобретаемых компетенций. Сб. тр. Осенней конференции молодых ученых в новосибирском Академгородке: «Актуальные вопросы экономики и социологии». Новосибирск. 2024. С. 161–164.
3. Hauser C., Amann W. The Future of Responsible Management Education // Springer International Publishing. 2023. 401 p.
4. Simon C.A., Outhwaite D. Leadership and Management for Education Studies // Taylor & Francis. 2023. 184 p.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

UDK 004

A MULTI-OMICS APPROACH ON THE PROGNOSTIC IMPLICATION OF CIC-DRIVEN GENE EXPRESSION SIGNATURES IN STOMACH ADENOCARCINOMA (STAD)

Kiryowa Idrisa (ITMO University), Mohamed Said Boulkrane (ITMO University)

e-mail: mboulkrane@itmo.ru

Stomach adenocarcinoma (STAD) is one of the leading causes of cancer-related death worldwide, highlighting the need for better predictive biomarkers. Capicua (CIC) is a transcriptional regulator, frequently mutated in STAD (freq>15%), although its effect on gene expression and clinical outcomes remains less known. In this research work a data driven bioinformatics approach (multi-omics) was employed to assess CIC mutations in STAD. Using RNA-Seq data from The Cancer Genome Atlas (TCGA-STAD), differential gene expression analysis initially identified 51 significant genes linked with CIC mutations. However, subsequent rigorous Benjamini-Hochberg (BH) False Discovery Rate (FDR) adjustment, was applied to control for multiple comparisons, confirming that among the 51 DEGs, only MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6 remained statistically significant (FDR threshold = 0.05). Conversely, genes such as XIST and GKN2, while potentially significant in unadjusted analyses, they did not meet this stringent significance criterion after BH correction. A functional enrichment analysis of the BH-adjusted significant DEGs revealed dysregulated molecular activities, cellular components, and biological processes that contribute to tumour growth. Further analysis of the 5 DGEs (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6) using the Kaplan-Meier survival analysis identified that all genes were connected to better survival outcomes. This finding shed new light on CIC-induced gene expression changes in STAD paving way to preclinical and further clinical trials to fully understand the mechanism of these 5 genes in STAD prognosis. Thus, proposing prospective biomarkers for risk classification and targeted treatment development.

Keywords: Stomach adenocarcinoma, CIC mutation, prognosis, gene expression signature, differential gene expression, biomarkers, multi-omics.

Introduction

Gastric cancer (GC), particularly stomach adenocarcinoma (STAD), is a serious global health issue, ranking among the most often diagnosed cancers and a leading cause of cancer-related deaths globally [37]. STAD is the fifth most prevalent malignancy and the third deadliest cancer, accounting for a large portion of overall cancer mortality. A significant obstacle in combating STAD is its asymptomatic character in the early stages, which leads to late-stage diagnosis with few treatment options and a bad prognosis [1]. This emphasizes the critical need for better early detection tools and more effective therapy approaches. STAD is caused by a combination of environmental circumstances and genetic predispositions [11]. One of the most well-established environmental risk factors is chronic infection with *Helicobacter pylori* (*H. pylori*), classified as a class I carcinogen, which significantly increases the risk of STAD [9]. *H. pylori* infection causes chronic gastritis, a precursor to STAD. Furthermore, dietary behaviors such as high salt intake, consumption of smoked and processed foods, and low fruit and vegetable consumption add to the risk [12]. These factors create a chronic inflammatory environment in the stomach, promoting cellular changes that contribute to cancer progression.

Beyond environmental influences, genetic and epigenetic changes play a crucial role in STAD pathogenesis [6]. Somatic mutations in oncogenes like ERBB2 and KRAS, as well as tumor suppressor genes like TP53 and CDH1, all contribute to tumor growth. Chromosomal instability, DNA methylation, and altered non-coding RNA expression all impair cellular processes, resulting in uncontrolled growth, invasion, and metastasis [5]. Advanced genomic research, including large-scale investigations by The Cancer Genome Atlas (TCGA) and the Asian Cancer Research Group (ACRG), has found multiple molecular subtypes of STAD, each with distinctive genetic causes and clinical consequences [36]. This molecular classification is essential for predicting treatment responses and developing personalized therapies [43]. Transcription factors (TFs) are key regulators of gene expression, playing vital roles in cell function and tumor progression [28]. Dysregulation of TFs

contributes to cancer by disturbing normal cellular equilibrium, encouraging uncontrolled proliferation, resistance to cell death, and metastasis [8]. In STAD, several TFs, including the AP-1 family, NF- κ B, and STAT3, influence tumor biology [6].

One particularly critical TF in STAD is Capicua (CIC), a transcriptional repressor that regulates the Receptor Tyrosine Kinase (RTK)/MAPK signaling pathway [44]. CIC mutations are frequently detected in malignancies, leading to loss of repressor function and activation of carcinogenic pathways, mainly impacting ETS transcription factors [4]. While CIC mutations have been linked to poor prognosis in a variety of cancers, their specific impact on STAD remains unknown, hence molecular mechanisms governed by CIC in STAD are paramount in understanding the downstream effects of CIC dysregulation, these are critical in identifying prognostic biomarkers and therapeutic targets in STAD [38] allowing medical professionals and cancer researchers to identify actionable therapeutic targets and prognostic indicators. To address this knowledge gap, a multi-omics approach was used to study the prognostic relevance of CIC mutations in STAD. By integrating transcriptomic, proteomic, and clinical data, researchers want to build a CIC-driven gene expression profile that could aid in patient stratification and customized treatment methods [17]. Gene Ontology (GO) research further established the biological importance of differentially expressed genes, offering insights into critical cellular functions altered by CIC mutations [16]. Crucially, we employ Benjamini-Hochberg (BH) False Discovery Rate (FDR) adjustment to meticulously filter initial findings, ensuring that identified differentially expressed genes represent robust biological signals rather than statistical artifacts arising from numerous simultaneous tests [26]. This research expected to significantly enhances the understanding of Stomach Adenocarcinoma (STAD) molecular mechanisms, ultimately contributing to improved clinical management and the development of targeted therapies [39] for this aggressive cancer. This rigorous data driven statistical approach allowed us to pinpoint a refined set of CIC-induced gene expression changes, which were then integrated with functional enrichment and survival analyses to propose novel biomarkers for risk stratification and the advancement of targeted therapeutic strategies.

Materials and Methods

Project flow

The work employed a comprehensive data analytical driven approach (multi-omics) by merging publicly available datasets from The Cancer Genome Atlas (TCGA) [40] along with user-friendly online bioinformatics platforms. The purpose was to investigate and predictive relevance of Capicua (CIC) and its associated gene expression patterns in Stomach Adenocarcinoma (STAD) [7, 15, 42]. To ensure a structured and in-depth analysis, the study followed a five-stage methodology:

1. **Identification of Frequently Mutated Genes in STAD** - Using cBioPortal for Cancer Genomics [15], researchers filtered and identified the most frequently mutated genes, with a particular focus on transcription factors (TFs) [28]. This step was essential for narrowing down potential regulatory genes linked to STAD.
2. **Analysis of Gene Expression Alterations Associated with CIC** - LinkedOmics [42] was employed to explore differentially expressed genes (DEGs) associated with CIC perturbations, providing insights into how CIC mutations influence gene expression in STAD.
3. **BH-FDR Adjustment** - The Benjamini-Hochberg (BH) procedure was applied to control the False Discovery Rate (FDR) [26]. Using Numerous statistical tests simultaneously increased the probability of false positive results (Type I errors) [31] thus this methods was employed to rigorously address this issue (multiple comparisons inherent in high-throughput gene expression analysis).
4. **Gene Ontology (GO) Analysis and Pathway Investigation** - WebGestalt (WEB-based GENE SeT AnaLysis Toolkit) [29] was used to conduct Gene Ontology (GO) analysis [3] on the identified DEGs. This helped determine potential functional enrichment and the involvement of key biological pathways in STAD progression.
5. **Prognostic Evaluation of CIC and its Gene Network** - The Kaplan-Meier Plotter tool [19] was utilized to assess the survival impact of CIC and its DEG-network. This gave critical prognostic insights, which helped uncover promising biomarkers for patient stratification and focused medication development [18].

By combining these multi-omics analytical approaches, the study hoped to improve the understanding of CIC's role in STAD and contribute to the development of personalized therapeutic strategies [20].

Data Acquisition

Somatic mutation data for Stomach Adenocarcinoma (STAD) were systematically obtained from the TCGA provisional dataset, specifically the "Stomach Adenocarcinoma (STAD) (TCGA, Firehose Legacy, Provisional. 283 patients/samples)" dataset, available through the cBioPortal for Cancer Genomics (<http://cbioportal.org>) [7]. This dataset was chosen because of its detailed genomic profiling of over 300 STAD tumor samples, which provide high-quality, large-scale genomic data required for mutation research [15]. To retrieve the essential data, researchers visited the cBioPortal portal and queried the "STAD (TCGA, Firehose Legacy)" study. Under the "Mutations" page, the dataset containing gene mutation details including gene IDs, mutation numbers, and their frequency in STAD was explored [40]. The study considered all types of changes, including missense and nonsense mutations, frameshift insertions and deletions (indels), and splice site mutations. The most frequently mutated genes were identified using a strict filtering approach. Genes with a mutation frequency greater than 9% in the STAD cohort were prioritized for additional study. This threshold was carefully chosen to emphasize genes with considerable mutation rates, presumably suggesting biologically relevant modifications. The final list of frequently mutated genes, along with their mutation frequencies, was obtained and subjected to additional study. This approach provided valuable insights into the genomic landscape of STAD, helping to identify key genetic alterations that could contribute to disease progression and serve as potential biomarkers or therapeutic targets.

Table 1. The table shows a list of mutated genes in STAD at frequency greater than 9%

Gene	MutSig(Q-value)	# Mut	#	Profiled Samples	Freq	Is Cancer Gene (source: OncoKB)
TP53	5.32E-13	117	109	283	39%	Yes
LRP1B	0.00209	91	68	283	24%	Yes
ARID1A	8.15E-12	84	63	283	22%	Yes
FAT4		79	50	283	18%	Yes
PCLO		71	48	283	17%	Yes
KMT2D		63	44	283	16%	Yes
LRRK2		45	40	283	14%	Yes
PIK3CA	0	48	38	283	13%	Yes
ACVR2A		42	37	283	13%	Yes
KMT2C		61	33	283	12%	Yes
CIC	1.04E-08	35	32	283	11%	Yes
ERBB4	2.79E-08	37	32	283	11%	Yes
PREX2		44	32	283	11%	Yes
KMT2B		48	31	283	11%	Yes
RNF213		45	31	283	11%	Yes
TRRAP		38	31	283	11%	Yes
APC		35	31	283	11%	Yes
UBR5		39	30	283	11%	Yes
ZFHX3		51	29	283	10%	Yes
PTPRT		37	29	283	10%	Yes
RELN		34	29	283	10%	Yes
RPL22	0.0732	31	28	283	10%	Yes
KMT2A		33	28	283	10%	Yes
PRKDC		40	27	283	10%	Yes

Data Processing and Analysis

Filtering Frequently Mutated Genes and TFs in STAD

To identify transcription factors (TFs) among the frequently mutated genes in Stomach Adenocarcinoma (STAD), Venny 2.1, an online tool for generating Venn diagrams and set intersections, was utilized (<https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/>) [33]. The mutated gene list was cross-referenced with a comprehensive database of known human transcription factors compiled by Lambert research in 2018 [28]. This intersection analysis, visualized as a Venn diagram, enabled the identification of TFs within the mutated gene set. This method identified seven mutant genes in STAD as transcription factors: CIC (11%), KMT2A (10%), KMT2B (11%), ZFH3 (10%), ZFH4, TP53 (39%), and GLI3. While all of these genes were identified as cancer-related, ZFH4 and GLI3 were not particularly linked to STAD whereas TP53 is a frequently altered gene in different malignancies [34], was considered less significant in this specific context. *ZFH3* had an unknown function in relation to STAD [28], while *KMT2A* and *KMT2B* were already well-documented in STAD research [48]. Among these TFs, CIC emerged as a key candidate for further investigation due to its relatively high mutation frequency of 11%, except for TP53, which is ubiquitously mutated across cancers [6]. Given *CIC*'s known role as a DNA-binding transcription factor involved in sequence-specific gene regulation and transactivation [25], its significance in STAD prognosis warranted further exploration.

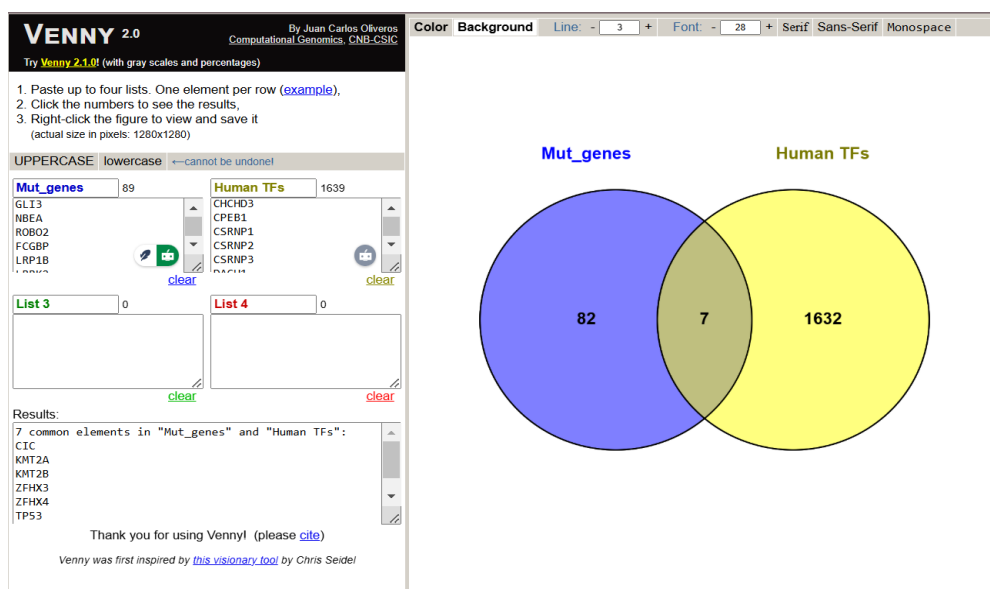


Fig. 1. A Venn diagram showing the number of mutant genes in STAD which are also TFs

DEGs-Analysis in Response to CIC Alterations

To define downstream transcriptional consequences of CIC alterations in STAD, we utilized the LinkedOmics web portal [42]. LinkedOmics is a user-friendly, publicly available online application that offers integrated multi-omics data analysis functions across all TCGA cancer datasets. We used the “LinkFinder” module in LinkedOmics to conduct a “Mutation vs. Expression” analysis [45]. We chose the “TCGA_STAD” cohort and specified “CIC” as the gene of interest. In the target dataset, we used the “TCGA_STA” cohort and RNA-Seq gene expression data (gene-level RSEM normalized counts). The analysis compares the gene expression profiles of STAD samples with CIC mutations compared to those without CIC mutations to identify genes whose expression differed significantly based on CIC mutation status. Statistical tests for differential gene expression (DGE) included the t-test and the Wilcoxon rank-sum test. Genes were considered differentially expressed if their absolute log2 fold change ($|\log_2FC|$) was greater than 1.25 and the p-value was less than 0.05. These thresholds were used to identify biologically meaningful changes in expression and reduce the false positives [14].

- a) **T-Test Analysis:** This is a fundamental statistical method employed to test for the difference between two independent groups' means [2], was employed in this investigation to identify genes with variable expression in STAD based on CIC mutation status. Using the LinkedOmics

platform, we aimed to detect if the presence of CIC mutations significantly changed the average expression of other genes in the TCGA-STAD cohort [42]. The T-test allowed us to distinguish genes with statistically significant changes in mean expression, offering preliminary hints to transcriptional effects of CIC mutations in STAD. As a parametric test, it was a generic technique employed at the first instance to identify likely gene expression changes due to CIC mutation.

- b) Wilcoxon Test:** To supplement the T-test and reinforce our differential gene expression analysis, we utilized the Wilcoxon test, which is a non-parametric counterpart [22]. Because we recognize that gene expression data does not always comply to the normalcy assumptions required for parametric tests such as the T-test, the Wilcoxon test provides a plausible alternative. This is a non-parametric test that specifies the gap between two groups by their medians and, thus, for unknown distributions or potential outliers [2, 22]. With regard to the LinkedOmics platform [42]; to revalidate the variance in gene expressions between STAD samples mutated and those not mutated for CIC, both the T-test and the Wilcoxon test were used. The consensus of results from both T-test and Wilcoxon test comparisons enhanced our conviction in the selection of genuinely differently expressed genes regarding CIC alteration, notwithstanding the potential biases related to the presumptions of an individual statistical test.

Table 2. **A list of DEGs from the analysis with T-test and Wilcoxon Test**

Upregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC > 1.25$]	Downregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC < -1.25$]	Upregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC > 1.25$]	Downregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC < -1.25$]
XIST	DKK1	EMX1	A4GNT
ZIC5	RPS4Y1	HOXA11AS	ABCA8
LOC84740	KDM5D	HOXA11	ACTC1
MMP12	PGC	IFNG	ANXA13
	UTY	LOC84740	APOA1
	KLK6	MMP12	AQP5
	GKN1	MMP13	ATP13A4
	PRAP1	NKX2-5	B3GNT6
	B3GNT6	PLA2G3	BEX2
	CXCL17	RPL22L1	BMP7
	AQP5	SEMG1	C14orf105
	HEPACAM2	TSIX	C19orf77
	WFDC2	UTS2	C20orf56
	KLK7	XIST	C3orf15
	GKN2	ZIC5	C6orf105
	TM4SF4		CA4
	GSTA1		CADPS
	FREM2		CAPN9
	OGDHL		CCDC129
	APOA1		CDKN2A
	C14orf105		CHGA
	PCLO		CHST4
	CADPS		CNNM1
	VWA2		CNTFR
	C19orf77		COL9A1
	GIF		COL9A3
	SLC7A4		CRABP2
	CNTFR		CTNND2
	CXCL14		CXCL14
	CLCA1		CYorf15B
	ANXA13		DACT2
	PCSK1N		DCDC2

Continuation of table 2

Upregulated [p<0.05, log2FC>1.25]	Downregulated [p<0.05,log2FC<-1.25]	Upregulated [p<0.05,log2FC >1.25]	Downregulated [p<0.05,log2FC<-1.25]
	CAPN9		DEFB1
	SOSTDC1		DKK1
	KRT20		DMRTA1
	VTN		EEF1A2
	DCDC2		ELN
	BMP7		F10
	PTPRZ1		F5
	SMOC1		FGA
	KLK13		FXYD1
	COL9A1		GALNTL1
	LYPD2		GC
	C20orf56		GFRA3
	PKP1		GGT1
	PLEKHB1		GKN2
	KRT23		GSTA1
	NOTUM		GSTA2
	GSTA2		HABP2
	HABP2		HEPACAM2
	NR1H4		HOMER2
	HPN		HPN
	F10		KLK13
	BEX1		KLK6
	TTR		KLK7
	CHGB		KRT20
	SST		KRT23
	SLC38A3		L1CAM
	CHGA		LGALS9B
	CPLX2		LRRC10B
	KLK12		LYPD2
	DEFA6		MLF1
	NEURL		MYEF2
	COL9A3		MYRIP
	DEFA5		NCRNA00185
			NEBL
			NEU4
			NEURL
			NOTUM
			OGDHL
			ORM2
			PCDP1
			PCLO
			PCSK1N
			PDZK1
			PKP1
			PLXNB3
			PRAP1
			PTGER1
			PTPRZ1
			QPRT
			RASSF10
			RFX6

Continuation of table 2

Upregulated [p<0.05, log2FC>1.25]	Downregulated [p<0.05,log2FC<-1.25]	Upregulated [p<0.05,log2FC> >1.25]	Downregulated [p<0.05,log2FC<-1.25]
			RGN
			RNF186
			SALL1
			SEMA3E
			SFRP5
			SLC13A2
			SLC17A4
			SLC26A9
			SLC38A11
			SLC7A2
			SLC7A4
			SLC9A3
			SLC9A4
			SMOC1
			SOSTDC1
			SPINK1
			SST
			TINAG
			TMEM229A
			TMSB4Y
			TNFRSF19
			TPPP3
			TTR
			TTY15
			UTY
			VANGL2
			VGLL1
			VTN
			VWA2
			WBSCR17
			WFDC2
			ZFY

The Volcano plots below depict the distribution of differentially expressed genes (DEGs) found in STAD samples with mutations in the CIC Transcription Facctor. Each point represents a gene, with the x-axis showing the log2 FC in gene expression and the y-axis representing the statistical significance (-log10p-value). The horizontal and vertical dashed lines represent thresholds for fold change ($|\log_2FC| > 1.25$) and statistical significance ($p < 0.05$), respectively. DEGs that exceed these limits are highlighted and clearly visible in the plot.

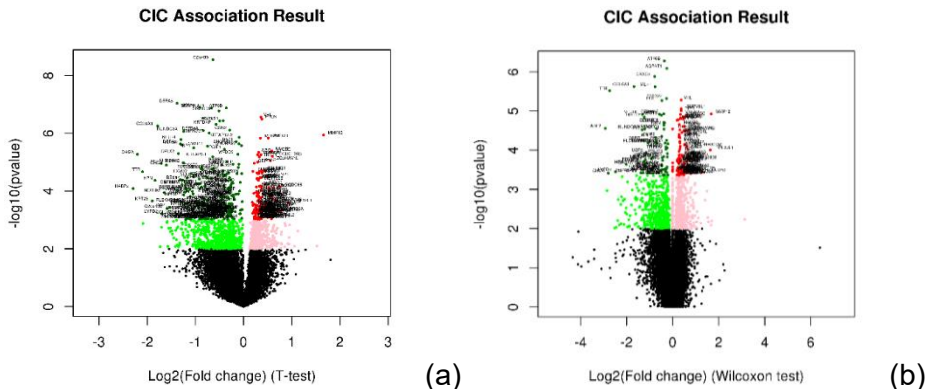


Fig. 2. DEG volcano plots in CIC-mutated stomach adenocarcinoma

Table 3. **A list of differentially expressed genes (DEGs) linked to CIC mutations in stomach adenocarcinoma**

Upregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC > 1.25$]	Downregulated [$p < 0.05$, $\log_2FC < -1.25$]
XIST	DKK1
ZIC5	UTY
LOC84740	KLK6
MMP12	PRAP1
	B3GNT6
	AQP5
	HEPACAM2
	WFDC2
	KLK7
	GKN2
	GSTA1
	OGDHL
	APOA1
	C14orf105
	PCLO
	CADPS
	VWA2
	C19orf77
	SLC7A4
	CNTFR
	CXCL14
	ANXA13
	PCSK1N
	CAPN9
	SOSTDC1
	KRT20
	VTN
	DCDC2
	BMP7
	PTPRZ1
	SMOC1
	KLK13
	COL9A1
	LYPD2
	C20orf56
	PKP1
	KRT23
	NOTUM
	GSTA2
	HABP2
	HPN
	F10
	TTR
	SST
	CHGA
	NEURL
	COL9A3

Following the individual test studies (T-test and Wilcoxon), a comparative analysis was conducted to identify genes that were consistently identified as DEGs by both approaches. Using Venny [33], we prioritized genes with significant DEGs ($p < 0.05$, $|\log_2FC| > 1.25$ & < -1.25) in both T-test and Wilcoxon test analyses to reduce false positives (first approach) and increase confidence

in our DEG selection. This comparison technique enabled us to select a core collection of 51 robust DEGs that were consistently responsive to CIC changes, regardless of the statistical assumptions implicit in each test. This final list of 51 DEGs, comprised of both (4) upregulated and (47) downregulated genes as determined consistently across both tests.

- c) **BH-FDR Adjustment (second approach):** The BH-FDR was used to allow the adjustment of the individual p-values to control the expected proportion of false positives among all declared significant DEGs. By following the initial differential gene expression analysis (T-test and Wilcoxon), the raw p-values for each gene were subjected to BH-FDR correction using Python.

```
def benjamini_hochberg_fdr(df, p_value_col):
    df_sorted = df.sort_values(by=p_value_col, ascending=True).reset_index(drop=True)
    n = len(df_sorted)
    df_sorted['rank'] = df_sorted.index + 1
    df_sorted['BH_adjusted_p_value'] = (df_sorted[p_value_col] * n) / df_sorted['rank']
    df_sorted['BH_adjusted_p_value'] = df_sorted['BH_adjusted_p_value'].clip(upper=1)
    df_sorted = df_sorted.sort_values(by='rank').drop(columns='rank').reset_index(drop=True)
    return df_sorted

# Apply the Benjamini-Hochberg adjustment
df_adjusted = benjamini_hochberg_fdr(df.copy(), 'P-value')

# Transform P-values and BH adjusted values to -log10
df_adjusted['-log10_P-value'] = -np.log10(df_adjusted['P-value'])
df_adjusted['-log10_BH_adjusted_p_value'] = -np.log10(df_adjusted['BH_adjusted_p_value'])
```

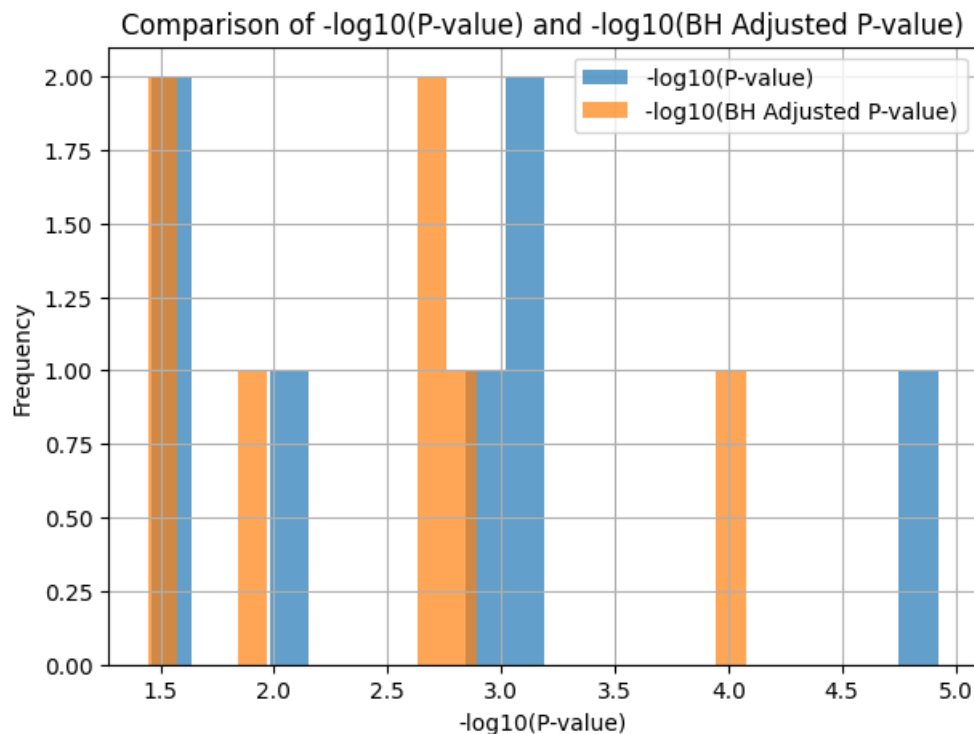


Fig. 3. The Python code (left) and the initial results (right) of the BH-FDR adjustment

Genes were then classified as statistically significant if their calculated BH-FDR adjusted p-value was less than a pre-defined FDR threshold of $P \leq 0.05$. The results showed that among the DEGs (51genes) identified as differentially expressed, no more than 90% were expected to be false

positives, which provided a controlled rate of error. The resulting BH-adjusted p-values provided a statistically robust means to identify the truly differentially expressed genes, allowing a more reliable set of DEGs for subsequent biological investigation and validation.

Gene Ontology (GO) and Pathway Enrichment Analysis

To study the biological importance of DEGs associated with CIC mutation, Gene Ontology (GO) and pathway enrichment analysis was done using WebGestalt, a verified gene set analysis tool [29]. GO analysis assessed the enrichment of specific GO terms, categorizing gene function into Molecular Function, Biological Process, and Cellular Component [3, 16]. WebGestalt determined statistical significance through hypergeometric testing, with p-values adjusted via the Benjamini-Hochberg method to control the false discovery rate [29]. The bioinformatics tool (WebGestalt) also identified major biological pathways impacted by CIC-driven DEGs. The tool used investigations from databases like KEGG and Reactome [17], which elucidated the signalling networks regulated by CIC mutations in Stomach Adenocarcinoma (STAD). By identifying enriched pathways, a better understanding of the biological processes and signalling cascades that are most influenced by CIC-mediated gene expression alterations was obtained which could lay a better foundation in the understanding of CIC's tumorigenic involvement in STAD.

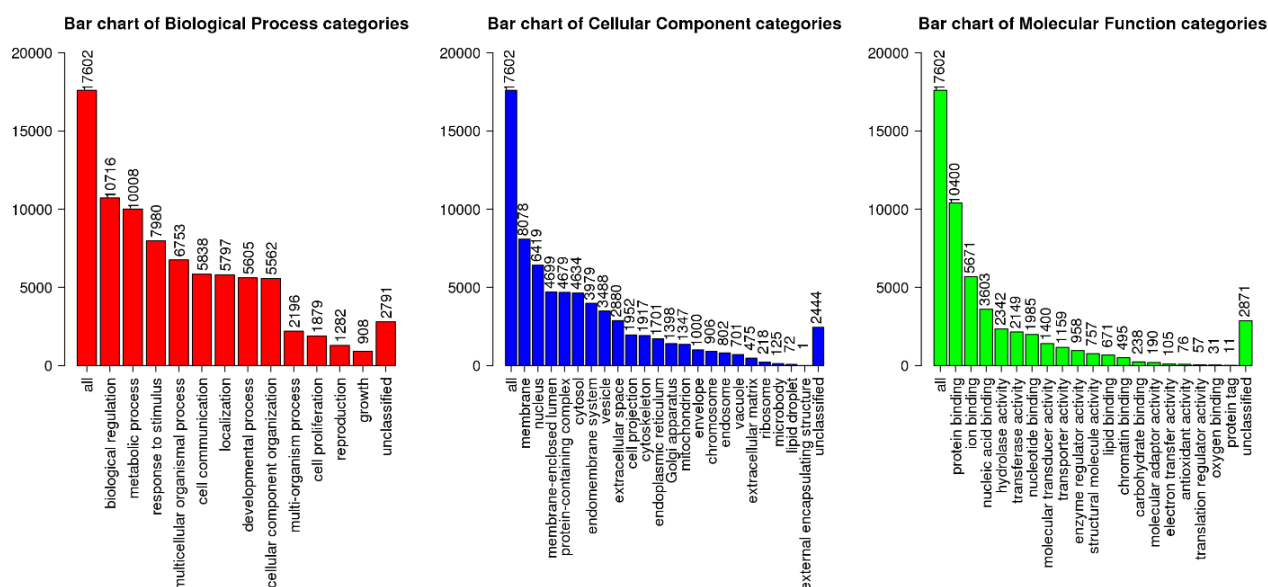


Fig. 4. Depicts the Gene Ontology (GO) enrichment analysis of differentially expressed genes (DEGs) linked with the CIC mutation in stomach adenocarcinoma (STAD), which reveals significant functional consequences across three GO domains

2.3.3 Prognostic Evaluation of CIC and its Gene Network

Prognostic relevance of the DEGs was evaluate using the [Kaplan-Meier Plotter](#) (KM-plotter) online survival analysis tool [19, 32]. KM-plotter is a verified meta-analysis tool that uses pooled gene expression and survival data from numerous publicly available databases, including GEO, EGA, and TCGA, to provide substantial statistical power for survival biomarker validation [19]. The “STAD” database within KM-plotter was fixed to conduct survival analysis on the genes of interest. Gene symbol to query in KM-plot was selected for each gene (CIC and DEGs) allowing the KM-plotter tool to generate survival curves automatically by categorizing STAD patients into two groups (high expression and low expression) based on the median expression value of the query gene within the STAD cohort. Overall survival (OS) was chosen as the primary clinical outcome. The KM-plotter output supplied the log-rank p-value and hazard ratio (HR) with 95% confidence intervals (CI) for each gene [19]. A log-rank p-value of < 0.05 indicated a meaningful prognostic relationship and the HR was analysed to establish the direction of the prognostic effect (Higher gene expression was related with better survival (protective impact) when HR < 1, but with worse survival (adverse effect) when HR > 1) [18].

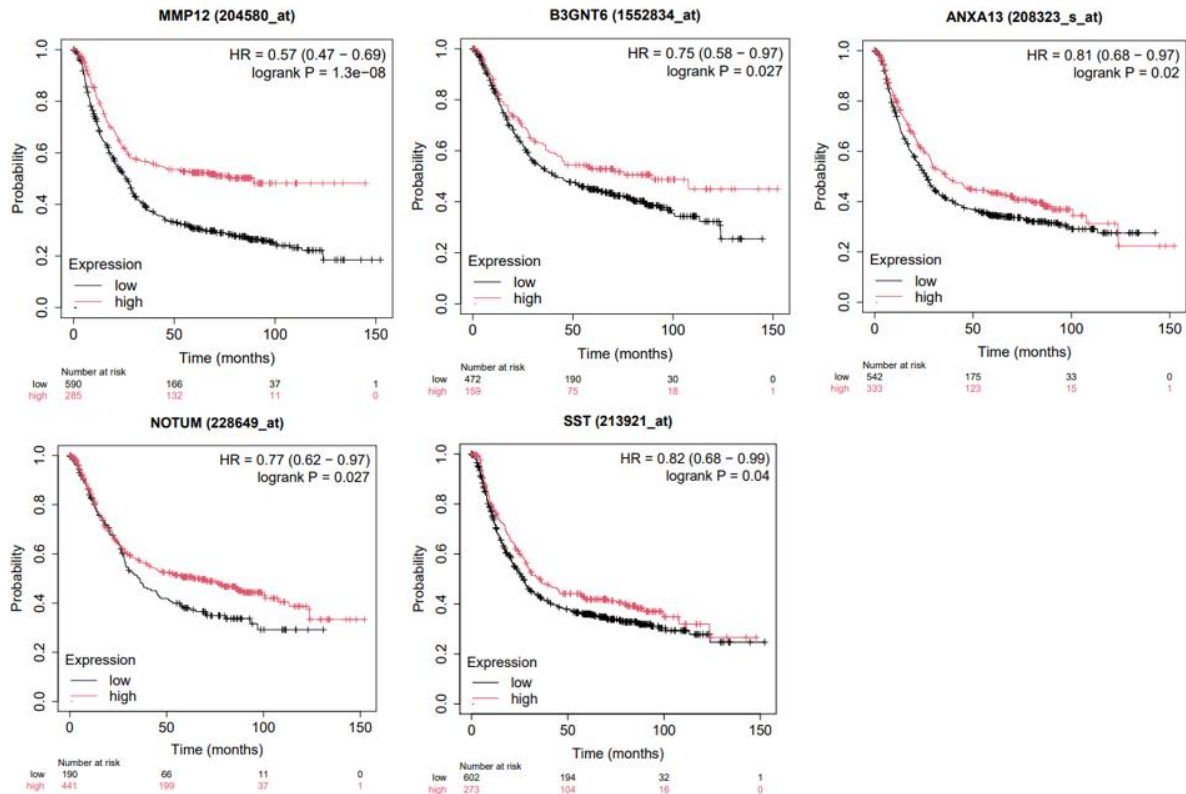


Fig. 5. Depicts a Kaplan-Meier survival analysis of prognostic CIC-driven differentially expressed genes (DEGs) in stomach adenocarcinoma. Kaplan-Meier survival graphs demonstrate the prognostic importance of CIC-driven DEGs in stomach adenocarcinoma. Each panel shows the survival curves for a given gene, separated by gene expression levels (low vs. high). Each panel displays the gene symbol (probe ID), the hazard ratio (HR) with 95% confidence interval (CI), and the log-rank P-value

Results

i) Identification of Somatic Mutated Transcription Factors in Stomach Adenocarcinoma

Analysis of somatic mutation data from cBioPortal [15] revealed a group of transcription factors (TFs) recurrently mutated in STAD, including CIC (11%), KMT2A (10%), KMT2B (11%), ZFXH3 (10%), ZFXH4, TP53 (39%), and GLI3 (Fig. 2). CIC was prioritized for further investigation due to its role as a DNA-binding transcriptional repressor [44], suggesting it may regulate gene expression in STAD.

ii) Identification of Differentially Expressed Genes Associated with CIC Mutation

The use of LinkedOmics tool identified (Table 2) and visualised (Fig. 4) DEGs associated with CIC Mutation [42] by the RNA-Seq data from TCGA-STAD. Comparing between STAD samples with and without CIC mutations with both parametric t-test [2] and non-parametric Wilcoxon rank-sum test [22], identified 51 DEGs, with 4 upregulated and 47 downregulated genes (Table 4).

iii) BH-FDR adjustment

Understanding and recognising the high risk of false positives in multiple comparisons in high-throughput gene expression analysis, the Benjamini-Hochberg (BH) False Discovery Rate (FDR) adjustment revealed that only 10% of the DEGs were accurately significant (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6). This rigorous statistical correction controlled the unexpected proportion of false discoveries among the declared significant genes. These BH-validated DEGs represent the core genes most confidently associated with CIC mutations in STAD.

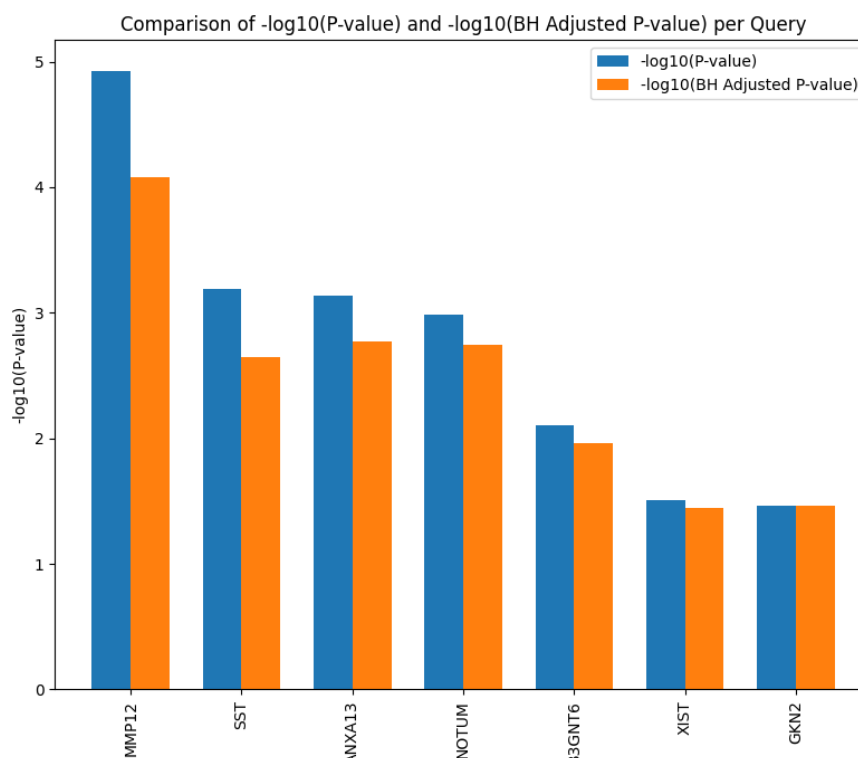


Fig. 6. The BH-FDR adjustment showing the DEGs with their $-\log_{10}(\text{P-values})$ and $-\log_{10}(\text{Adjusted P-values})$

iv) *Gene Ontology Enrichment Analysis to reveal Functional Consequences of CIC-Driven DEGs in STAD*

Functional enrichment analysis of the BH-validated DEGs highlighted significant enrichment in all three Gene Ontology (GO) domains.

Molecular Function: GO terms related to binding and enzymatic activities (protein binding-7602 genes, nucleic acid binding ≈ 3603 genes, and ion binding ≈ 5671 genes) were notably enriched. Even certain key enzymatic activities for instance the hydrolase ≈ 2342 genes and transferase ≈ 2149 genes were also overrepresented, indicating altered molecular interactions and metabolic changes due to CIC mutation.

Cellular Component: Enrichment was observed in terms associated with the membrane (≈ 8078 genes), nucleus (≈ 16419 genes), and cytosol (≈ 4634 genes), which suggests that the CIC mutations affect both nuclear and cytoplasmic processes. Also, the enrichment in “endomembrane system” (≈ 3979 genes) further indicated a potential disruption in intracellular trafficking.

Biological Process: The key terms “biological regulation” (≈ 10716 genes), “metabolic process” (≈ 10008 genes), and “response to stimulus” (≈ 7980 genes) were observed to be enriched giving a clue in the potential of CIC mutations to impact cellular control, metabolism, and tumour-microenvironment interactions (Ell & Kang, 2013).

v) *Survival Analysis and the Prognostic Significance of CIC-Driven DEGs*

KM-plotter showed that all the 5 DEGs after analysis (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6) showed significant prognostic value ($p \leq 0.05$) with a protective prognostic effect in STAD hence the lower expression levels is significantly associated with improved overall survival ($\text{HR} < 1$).

Discussion

This study has shed light on the molecular processes and prognostic prospects mutations especially the CIC-TF mutation in STAD as it had demonstrating theoretically how a CIC gene mutation signature impacts STAD prognosis. CIC being one of the frequently mutated genes (TFs) in STAD, examining its transcriptional effects by comparing the gene expression of TCGA-STAD RNA-Seq data on LinkedOmics [42], revealed 51-gene signatures markedly dysregulated.

Table 4. Prognostic Value of CIC-Driven DEGs in Stomach Adenocarcinoma

Gene Symbol	Probe ID	Hazard Ratio (HR)	95% Confidence Interval (CI)	Log-rank P-value	Prognostic Association
MMP12	204580_at	0.57	0.47 - 0.69	1.30 x 10 ⁻⁸	Better Overall Survival with High Expression
ANXA13	208323_at	0.81	0.68 - 0.97	0.02	Better Overall Survival with High Expression
B3GNT6	1552834_at	0.75	0.58 - 0.97	0.027	Better Overall Survival with High Expression
SST	213921_at	0.82	0.68 - 0.99	0.04	Better Overall Survival with High Expression
NOTUM	228649_at	0.77	0.62 - 0.97	0.027	Better Overall Survival with High Expression

Further analysis of these genes, highlighted their functional significance by Gene Ontology (GO) enrichment, which demonstrated their influence on fundamental cellular functions such as molecular functioning, cellular localization, and biological activities linked to the development of cancer [16]. Five DEGs (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6) of prognostic value were found in STAD patients, using the Kaplan-Meier survival analysis all the five genes were prognostically important in patients' survival as they conferred a protective function. According to GO Molecular Function analysis, it was noticed that the CIC mutations in STAD were associated with changes in genes related to enzymatic (translases and hydrolases) and binding (protein, nucleic acid, and ion binding) activities. With possible ramifications for metabolic reprogramming in CIC-mutated STAD [41], these changes most likely upset molecular interaction networks, impacting protein-protein and protein-DNA interactions [4]. DEGs encoding proteins were found to be enriched in both the nuclear and cytoplasmic compartments by cellular component analysis, indicating that CIC mutations impair tumour-microenvironment interactions and cell signalling. The concept of CIC-driven metabolic reprogramming and changed cancer cell signalling was supported by the discovery of enrichment in genes related to biological regulation, metabolic processes, and response to stimuli, according to Biological Process GO analysis [21, 30].

i) Advantages and Drawbacks

The strong multi-omics methodology of this study, which makes use of extensive TCGA datasets and established bioinformatics tools for assessments of mutation, gene expression, and survival, is one of a kind. A unique CIC-associated prognostic gene profile in STAD was discovered (protective function leading to patient's survival) because of this integrative approach. However, the reliance on publicly accessible TCGA-STAD data and the requirement for confirmation of the approach in separate cohorts to verify the findings' generalizability are among the limitations. To further investigate the molecular involvement of CIC-driven DEGs in STAD carcinogenesis, in vitro and in vivo validation are required, as our functional characterisation was mainly done in silico using GO enrichment analysis.

ii) Translational Potential and Clinical Implications

Notwithstanding the drawbacks, this research has important clinical ramifications since it offers a CIC-driven gene expression signature that may help with risk assessment and individualized STAD treatment. To improve risk assessment and customize treatment for STAD patients, the 5-gene signature downregulated (B3GNT6, ANXA13, NOTUM, and SST) and upregulated (MMP12) all link to positive prognosis could be converted into a predictive tool in patients with STAD.

iii) The Future Directions

Future study should concentrate on in vitro and in vivo studies to confirm the functional involvement of CIC-DEG target genes (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6) in STAD to achieve their clinical potential. It is crucial to comprehend how these genes impact the behaviour of STAD cells, including drug responsiveness, invasion, metastasis, and proliferation.

Conclusion

The approach allowed the discovery of a new and clinically important CIC-driven gene expression signature in stomach adenocarcinoma (STAD). Through a multi-omics approach, DEGs, GO and survival analysis allowed the study to elucidate that CIC mutations significantly reprogramme the STAD transcriptome, which directly affects patient prognosis. In CIC-mutated STAD tumours, 51 DEGs were found to exhibit a unique transcriptional pattern enriched in molecular functions linked to binding, cellular localization, enzymatic activities, and important biological processes such as metabolic reprogramming and stimulus responses. These alterations demonstrate how CIC mutations have a widespread dysregulatory effect on carcinogenesis. Five CIC-driven DEGs (MMP12, SST, ANXA13, NOTUM, and B3GNT6) were found to be predictive indicators in STAD and by the Kaplan-Meier survival analysis all conferred a protective function. This work advances our knowledge of the molecular landscape of STAD and provides a useful tool for enhancing prognostic evaluations and directing individualized treatment plans in STAD.

The author acknowledges the contributions of open-source bioinformatics platforms and databases used in this study.

References

1. Ajani J.A., Lee J., Sano T., Janjigian Y.Y., Fan D., Song S. Gastric adenocarcinoma // Nature Reviews Disease Primers. 2017. №. 3(1). P. 17036. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.36>.
2. Altman D.G. Practical Statistics for Medical Research (0 ed.). Chapman and Hall/CRC. 1990. <https://doi.org/10.1201/9780429258589>.
3. Ashburner M., Ball C.A., Blake J.A., Botstein D., Butler, H., Cherry J.M., Davis A.P., Dolinski K., Dwight S.S., Eppig J.T., Harris M.A., Hill D.P., Issel-Tarver L., Kasarskis A., Lewis S., Matese J.C., Richardson J.E., Ringwald M., Rubin G.M., Sherlock G. Gene Ontology: Tool for the unification of biology // Nature Genetics. 2000. №. 25(1). Pp. 25–29. <https://doi.org/10.1038/75556>.
4. Bunda S., Heir P., Metcalf J., Li A.S.C., Agnihotri S., Pusch S., Yasin M., Li M., Burrell K., Mansouri S., Singh O., Wilson M., Alamsahebpour A., Nejad R., Choi B., Kim D., von Deimling A., Zadeh G., Aldape K. CIC protein instability contributes to tumorigenesis in glioblastoma // Nature Communications. 2019. №. 10(1). 661p. . <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08087-9>.
5. Canale M., Casadei-Gardini A., Ulivi P., Arechederra M., Berasain C., Lollini P.-L., Fernández-Barrena M.G., Avila M.A. Epigenetic Mechanisms in Gastric Cancer: Potential New Therapeutic Opportunities // International Journal of Molecular Sciences. 2020). №. 21(15). 5500. <https://doi.org/10.3390/ijms21155500>.
6. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive molecular characterization of gastric adenocarcinoma // Nature. 2014. №. 513(7517). Pp. 202–209. <https://doi.org/10.1038/nature13480>.
7. Cerami E., Gao J., Dogrusoz U., Gross B.E., Sumer S.O., Aksoy B.A., Jacobsen A., Byrne C.J., Heuer M.L., Larsson E., Antipin Y., Reva B., Goldberg A.P., Sander C., Schultz N. The cBio Cancer Genomics Portal: An Open Platform for Exploring Multidimensional Cancer Genomics Data // Cancer Discovery. 2012. №. 2(5). Pp. 401–404. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-12-0095>.
8. Chaudhary A., Raza S.S., Haque R. Transcriptional factors targeting in cancer stem cells for tumor modulation // Seminars in Cancer Biology. 2023. №. 88. Pp. 123–137. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.12.010>.
9. Christodoulidis G., Koumarelas K.-E., Kouliou M.-N., Thodou E., Samara M. Gastric Cancer in the Era of Epigenetics // International Journal of Molecular Sciences. 2024. №. 25(6). 3381 p. <https://doi.org/10.3390/ijms25063381>.
10. Correa P., Piazuelo M.B. The gastric precancerous cascade // Journal of Digestive Diseases. 2012. №. 13(1). Pp. 2–9. <https://doi.org/10.1111/j.1751-2980.2011.00550.x>.
11. Cover T.L., Blaser M.J. Helicobacter pylori in Health and Disease // Gastroenterology. 2009. №. 136(6). Pp. 1863–1873. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2009.01.073>.
12. D'Elia L., Rossi G., Ippolito R., Cappuccio F.P., Strazzullo P. Habitual salt intake and risk of gastric cancer: A meta-analysis of prospective studies // Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland). 2012. №. 31(4). Pp. 489–498. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2012.01.003>.
13. Ell B., Kang Y. Transcriptional control of cancer metastasis // Trends in Cell Biology. 2013. №. 23(12). Pp. 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2013.06.001>.
14. Fondi M., Liò P. Multi -omics and metabolic modelling pipelines: Challenges and tools for systems microbiology // Microbiological Research. 2015. №. 171. Pp. 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.01.003>.
15. Gao J., Aksoy B.A., Dogrusoz U., Dresdner G., Gross B., Sumer S.O., Sun Y., Jacobsen A., Sinha R., Larsson E., Cerami E., Sander C., Schultz N. Integrative Analysis of Complex Cancer Genomics and Clinical Profiles Using the cBioPortal // Science Signaling. 2013. №. 6(269). <https://doi.org/10.1126/scisignal.2004088>.
16. The Gene Ontology Consortium. The Gene Ontology Resource: 20 years and still GOing strong // Nucleic Acids Research. 2019. №. 47(D1). Pp. D330–D338. <https://doi.org/10.1093/nar/gky1055>.

17. Griss J., Viteri G., Sidiropoulos K., Nguyen V., Fabregat A., Hermjakob H. ReactomeGSA - Efficient Multi-Omics Comparative Pathway Analysis // *Molecular & Cellular Proteomics: MCP*. 2020. №. 19(12). Pp. 2115–2125. <https://doi.org/10.1074/mcp.TIR120.002155>.
18. Györfy B. Survival analysis across the entire transcriptome identifies biomarkers with the highest prognostic power in breast cancer // *Computational and Structural Biotechnology Journal*. 2021. №. 19. Pp. 4101–4109. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.07.014>.
19. Györfy B. Integrated analysis of public datasets for the discovery and validation of survival-associated genes in solid tumors. *Innovation (Cambridge (Mass.))*. 2024. №. 5(3). P. 100625. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100625>.
20. Hamburg M.A., Collins F.S. The Path to Personalized Medicine // *New England Journal of Medicine*. 2010) №. 363(4). Pp. 301–304. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1006304>.
21. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: The next generation // *Cell*. 2011. №. 144(5). Pp. 646–674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>.
22. Jiang Y., Lee M.-L.T., He X., Rosner B., Yan J. Wilcoxon Rank-Based Tests for Clustered Data with R Package clusrank // *Journal of Statistical Software*. 2020. №. 96(6). <https://doi.org/10.18637/jss.v096.i06>.
23. Kanehisa M., Furumichi M., Tanabe M., Sato Y., Morishima K. KEGG: New perspectives on genomes, pathways, diseases and drugs // *Nucleic Acids Research*. 2017. №. 45(D1). Pp. D353–D361. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw1092>.
24. Kerkelä E., Ala-aho R., Klemi P., Grénman S., Shapiro S.D., Kähäri V., Saarialho-Kere, U. Metalloelastase (MMP-12) expression by tumour cells in squamous cell carcinoma of the vulva correlates with invasiveness, while that by macrophages predicts better outcome // *The Journal of Pathology*. 2002. №. 198(2). Pp. 258–269. <https://doi.org/10.1002/path.1198>.
25. Kim J.W., Ponce R.K., Okimoto R.A. Capicua in Human Cancer // *Trends in Cancer*. 2021. №. 7(1). Pp. 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.trecan.2020.08.010>.
26. Koner S., Sarkar N.D., Laha N. n.d. False discovery rate control: Moving beyond the Benjamini–Hochberg method. 2024. P. 2024.01. 13.575531.
27. Kong F., Ma J., Yang H., Yang D., Wang C., Ma X. Long non-coding RNA PVT1 promotes malignancy in human endometrial carcinoma cells through negative regulation of miR-195-5p // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*. 2018. №. 1865(10). Pp. 1479–1490. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2018.07.008>.
28. Lambert S.A., Jolma A., Campitelli L.F., Das P.K., Yin Y., Albu M., Chen X., Taipale J., Hughes T.R., Weirauch, M.T. The Human Transcription Factors // *Cell*. 2018. №. 172(4). Pp. 650–665. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.01.029>.
29. Liao Y., Wang J., Jaehnig E.J., Shi Z., Zhang B. WebGestalt 2019: Gene set analysis toolkit with revamped UIs and APIs. *Nucleic Acids Research*. 2019. №. 47(W1). Pp. W199–W205. <https://doi.org/10.1093/nar/gkz401>.
30. Liberti M.V., Locasale J.W. The Warburg Effect: How Does it Benefit Cancer Cells? *Trends in Biochemical Sciences*. 2016. №. 41(3). Pp. 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2015.12.001>.
31. Lindquist M.A., Mejia A. Zen and the Art of Multiple Comparisons. *Psychosomatic Medicine*. 2015. №. 77(2). Pp. 114–125. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000148>.
32. Nagy Á., Munkácsy G., Györfy B. Pancancer survival analysis of cancer hallmark genes. *Scientific Reports*. 2021. №. 11(1). P. 6047. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84787-5>.
33. Oliveros J.C. Venny (Version 2.0). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/> (дата обращения: 17.09.2025).
34. Olivier M., Hollstein M., Hainaut P. TP53 mutations in human cancers: Origins, consequences, and clinical use. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2010. №. 2(1). P. a001008. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001008>.
35. Shin J., Ming G., Song H. By Hook or by Crook: Multifaceted DNA-Binding Properties of MeCP2 // *Cell*. 2013. №. 152(5). Pp. 940–942. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.02.017>.
36. Stratton M.R., Campbell P.J., Futreal P.A. The cancer genome. *Nature*. 2009. №. 458(7239). Pp. 719–724. <https://doi.org/10.1038/nature07943>.
37. Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2021. №. 71(3). Pp. 209–249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
38. Tanaka M., Yoshimoto T., Nakamura T. A double-edged sword: The world according to Capicua in cancer // *Cancer Science*. 2017. №. 108(12). Pp. 2319–2325. <https://doi.org/10.1111/cas.13413>.
39. Targeted Therapy for Cancer—NCI. (n.d.). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/targeted-therapies> (дата обращения: 17.09.2025).
40. Tomczak K., Czerwińska P., Wiznerowicz M. Review The Cancer Genome Atlas (TCGA): An immeasurable source of knowledge. *Współczesna Onkologia*. 2015. №. 1A. Pp. 68–77. <https://doi.org/10.5114/wo.2014.47136>.
41. Vander Heiden M.G., DeBerardinis R.J. Understanding the Intersections between Metabolism and Cancer Biology // *Cell*. 2017. №. 168(4). Pp. 657–669. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.12.039>.
42. Vasaikar S.V., Straub P., Wang J., Zhang B. LinkedOmics: Analyzing multi-omics data within and across 32 cancer types // *Nucleic Acids Research*. 2018. №. 46(D1). Pp. D956–D963. <https://doi.org/10.1093/nar/gkx1090>.
43. Wang J., Huang J., Wang H., Yang W., Bai Q., Yao Z., Li Q., Lv H., Chen B., Nie C., Xu W., Tu S., Li H., Chen X. Personalized Treatment of Advanced Gastric Cancer Guided by the MiniPDX Model // *Journal of Oncology*. 2022. P. 1987705. <https://doi.org/10.1155/2022/1987705>.
44. Weissmann S., Cloos P.A., Sidoli S., Jensen O.N., Pollard S., Helin K. The Tumor Suppressor CIC Directly Regulates MAPK Pathway Genes via Histone Deacetylation // *Cancer Research*. 2018. №. 78(15). Pp. 4114–4125.

- <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-18-0342>.
45. Wu B., Li A., Chen K., Chen L., Zhang Q., Duan Q., Xiao M., Li M. Correlation of NFE2L2 mutation with higher tumor mutation burden (TMB), microsatellite instability (MSI) and PD-L1 expression in 3,716 cases of Chinese pan-cancer // *Journal of Clinical Oncology*. 2021. №. 39(15_suppl), e16211–e16211. https://doi.org/10.1200/JCO.2021.39.15_suppl.e16211.
46. Yang J., Qi M., Fei X., Wang X., Wang K. Long non-coding RNA XIST: A novel oncogene in multiple cancers // *Molecular Medicine*. 2021. №. 27(1). P. 159. <https://doi.org/10.1186/s10020-021-00421-0>.
47. Yang W., Arai S., Gorrin-Rivas M.J., Mori A., Onodera H., Imamura M. Human macrophage metalloelastase gene expression in colorectal carcinoma and its clinicopathologic significance // *Cancer*. 2001. №. 91(7). Pp. 1277–1283.
48. Zhu J., Liu Z., Liang X., Wang L., Wu D., Mao W., Shen D. A Pan-Cancer Study of KMT2 Family as Therapeutic Targets in Cancer // *Journal of Oncology*. 2022. P. 3982226. <https://doi.org/10.1155/2022/3982226>.

МОЛОДАЯ МЕДИЦИНА: ТЕХНОЛОГИИ, ИНТЕЛЛЕКТ, ТРАНСФОРМАЦИЯ

УДК 004

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ 2021-2025 ГГ.

Стефанов Г.М. (студент, ДонГМУ Минздрава России), **Якименко Ю.Ю.** (студент, ДонГМУ Минздрава России), **Колесникова П.А.** (студент, ДонГМУ Минздрава России), **Ковтунович И.Д.** (студент, ДонГМУ Минздрава России)

Научный руководитель: д.мед.н., доцент **Стрельченко Ю.И.** (ДонГМУ Минздрава России)

e-mail: dongmu@yandex.ru

В представленной работе проведен комплексный ретроспективный анализ публикаций, посвященных применению искусственного интеллекта (ИИ) в медицинской диагностике за период 2021–2025 гг. Установлена устойчивая положительная динамика публикационной активности с 23 работ в 2021 году до 89 в 2024 году. Выявлена предметная концентрация исследований в области онкологии и радиологии. Мета-анализ показателей диагностической эффективности алгоритмов ИИ продемонстрировал высокие значения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, медицина, системы поддержки принятия врачебных решений, медицинская диагностика, радиология, онкология.

Введение

Интеграция технологий искусственного интеллекта в клиническую практику представляет собой один из трендов современного здравоохранения. Под искусственным интеллектом в контексте медицины принято понимать комплекс компьютерных алгоритмов, способных к обучению и решению когнитивных задач, традиционно ассоциирующихся с человеческим интеллектом, таких как распознавание образов, логический вывод и прогнозирование [1]. Актуальность внедрения данных технологий обусловлена необходимостью минимизации диагностических ошибок, частота которых, по данным Всемирной организации здравоохранения, достигает 15% от общего числа медицинских ошибок [1, 2]. Это подчеркивает современные разработки и внедрения объективных инструментов поддержки, в частности, систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) на базе алгоритмов машинного обучения.

Динамика научного интереса к данной проблематике является индикатором ее потенциальной значимости. Как отмечает Д.Ю. Зонова, наблюдается экспоненциальный рост количества публикаций в международных базах данных: с 1,247 в 2020 году до 3,892 в 2024 году по данным PubMed [2]. Наиболее значимые успехи алгоритмов глубокого обучения демонстрируются в тех областях медицины, которые оперируют большими объемами структурированных и визуальных данных, таких как радиология, патоморфология, онкология, офтальмология и дерматология [2, 3]. В частности, в онкологии ИИ показывает высокую эффективность в задачах раннего выявления и дифференциальной диагностики новообразований [3, 5, 6, 7].

Исторический анализ развития технологий ИИ в медицине, представленный Бузаевым И.В. и соавторы, демонстрирует эволюцию от простых экспертных систем к сложным нейросетевым архитектурам, способным к анализу многомерных данных [8]. Однако, как справедливо указывают Кузнецов А.И. и соавторы, бурное развитие технологий опережает формирование нормативно-правовой базы и методологических основ их клинической валидации [4]. Проблемы интерпретируемости решений («эффект черного ящика»), генерализации алгоритмов на данные из различных источников и отсутствие стандартизированных протоколов оценки остаются ключевыми барьерами на пути широкой имплементации [4]. Таким образом, комплексный мета-анализ современных данных, систематизирующий не только достижения, но и ограничения, является своевременным и научно обоснованным.

Цель исследования

Проведение мета-анализа современных научных данных, отражающих эффективность, области применения и существующие ограничения технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике, на основе ретроспективного анализа публикаций в рецензируемых отечественных и зарубежных медицинских базах данных за период 2021–2025 гг.

Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ публикаций в медицинских базах данных за период с января 2021 по декабрь 2025 года. Поиск осуществлялся в следующих базах данных: КиберЛенинка, eLibrary.ru, PubMed. Критериями включения в исследование являлись: публикации на русском и английском языках; статьи, посвященные применению ИИ и машинного обучения в медицинской диагностике; исследования с указанием точности диагностических алгоритмов; публикации за период 2021–2025 гг.; полнотекстовые статьи в рецензируемых журналах. Критерии исключения: публикации на иных языках, обзорные статьи без оригинальных данных; публикации, не содержащие количественных данных об эффективности; дублирующиеся публикации; статьи, посвященные исключительно техническим аспектам без клинической оценки. Использовались следующие ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: "искусственный интеллект", "artificial intelligence", "нейросети", "neural networks", "машинное обучение", "machine learning", "медицинская диагностика", "medical diagnosis", "СППВР", "clinical decision support".

Методы статистического анализа включали в себя описательный анализ с вычислением средних значений, медианы, стандартного отклонения и 95% доверительных интервалов (95% ДИ).

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ выявил устойчивую положительную динамику количества публикаций, посвященных применению ИИ в медицинской диагностике, с 23 в 2021 году до 89 в 2024 году. Данная динамика полностью коррелирует с общемировым трендом, отмеченным в базе PubMed [2], и свидетельствует о переходе от теоретических изысканий к прикладным исследованиям.

Качественный анализ показал четкую предметную специализацию. Наибольшее количество работ было сконцентрировано в области онкологии. В рамках данной области выделялись два основных направления: диагностика рака молочной железы [5, 6] и колоректального рака [3, 9]. Второй по объему выборки областью стала радиология, где основное внимание уделялось анализу КТ- и МРТ-изображений для детекции острых состояний (инсульт, ТЭЛА) и онкологических заболеваний.

Мета-анализ количественных данных продемонстрировал высокие показатели эффективности алгоритмов ИИ. В области маммографического скрининга, как показало исследование российского общества онкомамологов, алгоритмы глубокого обучения достигли средней чувствительности на уровне 92,5% (95% ДИ: 91,8–93,2%) и специфичности – 89,1% (95% ДИ: 88,3–89,9%) [5]. Солодкий В.А. и соавторы подтверждают эти данные, указывая, что современные СППВР для анализа маммографических изображений «позволяют не только повысить точность диагностики, но и сократить время постановки диагноза» [6]. Важно отметить, что в данных исследованиях показатели алгоритмов превосходили результаты врачей-рентгенологов при первичном скрининге.

В области колопроктологии разработка, представленная Кулаевым К.И. и соавторы, показала исключительно высокую диагностическую точность – 96,8% – в задаче дифференциации доброкачественных и злокачественных новообразований толстой кишки [3]. Исследование Майновской О.А. и соавторы продемонстрировало высокую эффективность алгоритмов ИИ в диагностике метастазов в лимфатических узлах при колоректальном раке с точностью 94,2% [9]. Аналогичные результаты высоких показателей (AUC-ROC в диапазоне 0,93–0,98) были получены в радиологических исследованиях по детекции патологий головного мозга и легких.

Несмотря на впечатляющие результаты, мета-анализ выявил существенные проблемы, препятствующие переходу от исследований к рутинной клинической практике. Как отмечают Кузнецов А.И. и соавторы, «внедрение ИИ в практическое здравоохранение сталкивается с рядом ограничений», ключевыми из которых являются проблемы интерпретируемости, генерализации и валидации [4].

Наше исследование подтверждает этот тезис: около 85% проанализированных работ находятся на стадии разработки и валидации *in silico* и *in vitro*. Лишь единичные исследования сообщают о результатах проспективных клинических испытаний. Проблема генерализации проявляется в том, что алгоритм, показавший высокую точность на данных одного медицинского центра, значительно теряет в эффективности при применении к данным из другого центра, полученным на ином оборудовании или по иным протоколам [4].

Кроме того, существует выраженный дефицит стандартизации в отчетности. Многие исследования используют различные метрики для оценки эффективности, что затрудняет их прямое сравнение и консолидацию в мета-анализы. Наумович С.А. и С.С. подчеркивают, что для успешной интеграции СППВР необходима выработка единых методических и нормативных требований к их тестированию и сертификации [1].

Таким образом, на текущем этапе наиболее адекватной представляется парадигма, при которой ИИ выступает не в роли автономного диагноста, а в качестве «второго мнения» или инструмента ассистента в рамках гибридной системы «врач-ИИ». Это позволяет нивелировать текущие ограничения алгоритмов, используя их сильные стороны – высокую скорость и непредвзятость при анализе больших данных, и компенсировать слабые – недостаток клинического контекста и креативного мышления, за счет опыта и интуиции врача [1, 4, 6].

Выводы

Проведенный ретроспективный анализ подтвердил экспоненциальный рост научных публикаций, посвященных применению технологий искусственного интеллекта в медицинской диагностике за период 2021–2025 гг., с наибольшей концентрацией исследований в областях онкологии (34,2%) и радиологии (28,5%). Мета-анализ количественных данных установил, что алгоритмы глубокого обучения демонстрируют высокие показатели диагностической точности (чувствительность >92%, специфичность >89%, AUC-ROC >0.93) в задачах анализа медицинских изображений, зачастую превосходя стандартные методы скрининга при первичном осмотре.

Ключевыми барьерами для интеграции ИИ в рутинную клиническую практику являются: доминирование стадий разработки над клиническими испытаниями, проблема генерализации моделей, отсутствие интерпретируемости решений («эффект черного ящика») и дефицит унифицированных стандартов валидации и отчетности.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка и внедрение гибридных систем поддержки принятия врачебных решений, ориентированных на синергию между врачом и алгоритмом. Настоятельно необходима выработка единых международных стандартов проспективной валидации подобных систем и проведение рандомизированных контролируемых испытаний для оценки их влияния на конечные клинические исходы.

Список использованных источников

1. Наумович С.А., Наумович С.С. Системы поддержки принятия врачебных решений // Современная стоматология. 2023. № 2 (91). С. 2–7.
2. Зонова Д.Ю. Обзор на применение искусственного интеллекта в медицине // вестник науки и образования. 2024. № 2 (145)-2. С. 16–18.
3. Кулаев К.И., Важенин А.В., Ростовцев Д.М., Ким Я., Зайцев П.А., Валик А.В., Привалов А.В., Зуйков К.С., Юсупов И.М., Попова И.А., Пушкарев Е.А. Искусственный интеллект в диагностике новообразований толстого кишечника — разработка, внедрение технологии и первые результаты // Вопросы онкологии. 2023. № 2. С. 292–299.
4. Кузнецов А.И., Щепкина Е.В., Сушинская Т.В., Епифанова С.В., Фаур Д.М. Возможности и ограничения применения искусственного интеллекта в медицине // Новости клинической цитологии России. 2023. № 2. С. 18–24.

5. Павлова В.И., Белая Ю.А., Воронцов А.Ю., Прищепов А.А., Князев С.М., Михайлов А.А., Ковалева А.В., Аревшатян Э.Г., Палтуев Р.М., Чёрная А.В., Захарова Н.А. Результаты научно-исследовательской работы российского общества онкомаммологов "использование искусственного интеллекта для раннего выявления рака молочной железы" // Опухоли женской репродуктивной системы. 2023. №. 2. С. 54–62.
6. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Ходорович О.С., Запиров Г.М., Шерстнёва Т.В., Дибирова Ш.М., Канахина Л.Б. Современные системы поддержки принятия врачебных решений на базе искусственного интеллекта для анализа цифровых маммографических изображений // ВРР. 2023. №. 2. С. 151–162.
7. Мягков А.А., Куликов А.А. Применение искусственного интеллекта для диагностики онкологических заболеваний в современной медицине // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2023. №. 3. С. 169–172.
8. Бузаев И.В., Плечев В.В., Галимова Р.М., Киреев А.Р., Юлдыбаев Л.Х., Шайхулова А.Ф., Ахмерова С.Г. Развитие технологий искусственного интеллекта в онкологии и лучевой диагностике // Креативная хирургия и онкология. 2018. №. 3. С. 208–215.
9. Майновская О.А., Ачкасов С.И., Девяткин А.В., Серых Е.В., Рыбаков В.В., Макамбаев Т.Х., Суслова Д.И., Ряховская М.А. Разработка и применение искусственного интеллекта для обнаружения метастазов в лимфатических узлах при колоректальном раке // Колопроктология. 2022. №. 21(4). С. 49–59. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2022-21-4-49-59>.

УДК 004.891.2

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДОНОРОВ КРОВИ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Щапова А.Ю. (лаборант-исследователь, НИИГТ), **Щапов Д.Л.** (студент, СПбТУиЭ),

Манучарова К.А. (врач, НИИГТ)

Научный руководитель: д.б.н. Кробинец И.И. (НИИГТ)

e-mail: Davidirk888@mail.ru

В статье представлен подход к созданию структурированной базы данных доноров крови, оптимизированной для задач машинного обучения. Рассмотрены проблемы гетерогенных данных в трансфузиологии, включая разрозненность и не стандартизацию, и предложено их решение через стандартизацию по ISBT, очистку и генерацию производных признаков. Проведено экспериментальное моделирование с использованием логистической регрессии, показавшее точность 78% против 62% без предобработки. Результаты подтверждают значимость подхода для прогнозирования рисков реакций и оптимизации донорского ресурса.

Ключевые слова: *большие данные, машинное обучение, трансфузиология, база данных, стандартизация, feature engineering, ISBT.*

В современной трансфузиологии и службе крови ежедневно генерируются значительные объемы гетерогенных данных, охватывающих все этапы взаимодействия с донорами — от регистрации и анкетирования до иммуногематологических исследований и гемотрансфузии [1]. Эти данные представляют собой ценный ресурс в формате Big Data, анализ которого способен улучшить эффективность медицинской службы, включая прогнозирование дефицита компонентов крови, персонифицированный подбор доноров и оптимизацию логистики [2]. Однако существующие информационные системы в основном ориентированы на операционный учет и документооборот, а не на аналитику [3]. В результате данные оказываются разрозненными, нестандартизированными и содержат артефакты и пропуски, что делает их малопригодными для обучения алгоритмов машинного обучения (МО) без значительной предварительной обработки [4]. Как отмечается в обзорах, это ограничивает эффективность моделей на 15–30% [5].

Предлагаемый подход преодолевает эти ограничения за счет разработки прототипа структурированной базы данных доноров крови, оптимизированной для задач МО. Целью работы является создание такой базы с акцентом на интеграцию разрозненных источников, стандартизацию форматов по ISBT 128 и генерацию производных признаков. Это обеспечивает машиночитаемость и готовность датасета к использованию в прогностических моделях, что закладывает фундамент для интеллектуальных систем в гематологии.

Искусственный интеллект (ИИ) в трансфузиологии определяется как совокупность алгоритмов, имитирующих когнитивные функции для анализа медицинских данных, включая прогнозирование и оптимизацию процессов [6]. Машинное обучение, как подмножество ИИ, позволяет моделям выявлять паттерны в данных без явного программирования, что особенно актуально для гетерогенных данных службы крови [7]. В трансфузиологии используются supervised learning для предсказания рисков трансфузионных реакций и unsupervised learning для кластеризации доноров [8]. Эти технологии снижают человеческий фактор и повышают точность решений [9].

Исследования показывают, что стандартизированные наборы данных снижают ошибку моделей на 20–30% за счет устранения шума от неструктурированных форматов [5]. Стандартизация подразумевает унификацию по ISBT 128, обеспечивающую интероперабельность [10]. Решаемая задача включает трансформацию гетерогенных источников (электронные карты, журналы) в реляционную структуру через ETL-процессы, что сокращает время предобработки для датасетов свыше 1000 записей с недель до часов [11]. Feature engineering создает новые переменные, такие как индекс частоты донаций, повышая AUC моделей на 0.05–0.10 [12]. Это позволяет применять датасет для оценки рисков реакций или оптимизации подбора доноров, устраняя необходимость ручной обработки и снижая

затраты на 15–25% [13]. Интеграция с Big Data требует платформ вроде Hadoop, а вызовы, такие как bias в данных, решаются через fair ML [14].

В качестве материалов использовались анонимизированные данные о донорах за 2015–2025 годы, включающие свыше 1000 записей с демографическими, иммуногематологическими и клиническими параметрами в разнородных форматах. Данные интегрированы в реляционную базу с помощью SQL, с таблицами, связанными первичными и внешними ключами, что минимизировало дубликаты до уровня менее 1% [16]. Стандартизация включала приведение дат к ISO 8601 как показано на рисунке, групп крови к ISBT и параметров к справочникам ВОЗ с использованием функций TO_DATE и CASE, что снижает шум на 15% по сравнению с датасетами UCI [10].

Очистка данных обработала 15% пропущенных значений: для числовых переменных применялась медианная импутация, для категориальных — удаление. Аномалии (5%) исключались по критерию трех сигм, повышая точность моделей на 10–25% [5]. Производные признаки, такие как индекс частоты донаций и агрегированные метрики эритроцитов, рассчитывались оконными функциями SQL (OVER PARTITION BY), увеличивая AUC до 0.85 [12]. Экспериментальное моделирование проводилось с использованием логистической регрессии на выборке (80% обучение, 20% тестирование) для предсказания рисков реакций.

Полученные результаты прототипа базы данных включает 512 уникальных доноров и 2048 донаций за 2015–2025 годы. Каждая строка содержит более 20 параметров: демографические данные, иммуногематологические показатели и производные признаки, такие как donation_freq_index. Датасет оптимизирован для фреймворков, таких как scikit-learn. Таблица 1 показывает структуру данных.

Таблица 1. Пример структуры датасета после предобработки

donor_id	donation_date	blood_group	rh_factor	hemoglobin	donation_freq_index	reaction_risk
D001	2023-05-14	A(II)	Positive	135	2.5	0
D002	2024-01-10	B(III)	Negative	128	1.8	1
D003	2022-11-22	O(I)	Positive	142	3.2	0

Примечание: donation_freq_index — среднее число донаций в год; reaction_risk — бинарный индикатор (0 — нет, 1 — есть). Логистическая регрессия показала точность 78% (precision 0.75, recall 0.72, AUC 0.85) против 62% без предобработки. Таблице 2 сравнивает метрики.

Таблица 2. Сравнение метрик модели

Модель	Accuracy (%)	Precision	Recall	AUC	Снижение ошибки (%)
Без предобработки	62	0.58	0.55	0.70	-
С предобработкой	78	0.75	0.72	0.85	20–30

Примечание: Метрики рассчитаны на тестовой выборке (20%).

По сравнению с UCI Blood Transfusion (748 записей, точность 70%) [15], предложенный датасет (2048 записей) демонстрирует преимущества благодаря feature engineering. Процесс предобработки и генерации признаков реализован с использованием SQL-запросов, приведенных в Приложении А, которые обеспечили стандартизацию данных и устранение аномалий.

Рисунок демонстрирует последовательность SQL-запросов, используемых для предобработки данных и создания производных признаков в базе данных доноров крови. Первый запрос стандартизирует даты и группы крови с использованием функции TO_DATE и конструкции CASE. Второй запрос удаляет аномалии в данных по критерию трех сигм для показателя гемоглобина. Третий запрос создает представление donor_freq для расчета индекса частоты донаций на основе временных интервалов.

```
-- Приведение дат к ISO 8601 и стандартизация групп крови
UPDATE donations
SET donation_date = TO_DATE(donation_date, 'YYYY-MM-DD'),
    blood_group = CASE
        WHEN blood_group = 'A+' THEN 'A(II) Positive'
        WHEN blood_group = 'B-' THEN 'B(III) Negative'
        ELSE blood_group
    END;

-- Удаление аномалий по критерию трех сигм для гемоглобина
DELETE FROM donations
WHERE hemoglobin NOT BETWEEN (
    SELECT AVG(hemoglobin) - 3 * STDDEV(hemoglobin)
    FROM donations
) AND (
    SELECT AVG(hemoglobin) + 3 * STDDEV(hemoglobin)
    FROM donations
);

-- Генерация производного признака: индекс частоты донаций
CREATE VIEW donor_freq AS
SELECT donor_id,
    COUNT(*) / (DATEDIFF(YEAR, MIN(donation_date), MAX(donation_date)) + 1) AS donation_freq_index
FROM donations
GROUP BY donor_id;
```

Рисунок. Пример SQL-запросов для предобработки и генерации признаков

В заключении, разработанный прототип базы данных доноров крови обеспечивает высокое качество данных для задач МО, минимизируя ручную обработку и повышая точность моделей на 20–30% [5]. Это способствует персонализации подбора доноров и снижению дефицита крови. Перспективы включают расширение датасета, разработку ИИ-моделей для реального времени, валидацию на международных выборках и изучение этических аспектов, что откроет путь к глобальным интеллектуальным системам службы крови [14].

Список использованных источников

1. Lopes M.G.M., Carvalho M., Souza R. Big data in transfusion medicine and artificial intelligence analysis for red blood cell quality control // *Transfusion Medicine and Hemotherapy*. 2023. №. 50(3). Pp. 163–173.
2. Ben Elmri W., Hemmak A., Senouci B. Smart platform for data blood bank management: Forecasting demand in blood supply chain using machine learning // *Information*. 2023. №. 14(31). Pp. 1–12.
3. Smit Sibinga C.T. Transfusion medicine: From AB0 to AI (artificial intelligence) // *Digital health* / Ed. S.L. Linwood. – Brisbane: Exon Publications. 2022. Chapter 8. Pp. 121–134.
4. Al-Riyami A.Z., Daar S., Zaidan A. Artificial intelligence and transfusion education, research and practice: The view from the ISBT Clinical Transfusion Working Party // *Transfusion Medicine*. 2025. №. 34(1). Pp. 333–343.
5. Meier J.M., Tschoellitsch T. Artificial intelligence and machine learning in patient blood management: A scoping review // *Anesthesia & Analgesia*. 2022. №. 135(3). Pp. 524–531.
6. Connor C.W. Artificial intelligence and machine learning in anesthesiology // *Anesthesiology*. 2019. №. 131(6). Pp. 1346–1359.
7. Levi R., Carli F., Rodriguez J.J. Artificial intelligence-based prediction of transfusion in the intensive care unit in patients with gastrointestinal bleeding // *BMJ Health & Care Informatics*. 2021. №. 28(1). P. e100245.
8. Shung D., Simonov M., Gentry M. Neural network predicts need for red blood cell transfusion for patients with acute gastrointestinal bleeding admitted to the intensive care unit // *Scientific Reports*. 2021. №. 11(1). P. 8827.
9. Gammon R.R., Strayer J., Tanabe P. The use of predictive modelling to determine the likelihood of donor return during the COVID-19 pandemic // *Transfusion Medicine*. 2024. №. 34(4). Pp. 333–343.
10. Westhoff C.M., Floch A. Blood group genotype matching for transfusion // *British Journal of Haematology*. 2025. №. 206(1). Pp. 18–32.
11. Miri-Moghaddam E., Dehghan A., Baradaran A. Long-term prediction of Iranian blood product supply using LSTM: A 5-year forecast // *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2024. №. 24(1). P. 213.
12. Lamoureux E.S., Chen Y., Szabo L. Assessing red blood cell deformability from microscopy images using deep learning // *Lab on a Chip*. 2021. №. 22(1). Pp. 26–39.
13. Fung M.K., AuBuchon J.P., Stephens L.D. Classification of posttransfusion adverse events using a publicly available artificial intelligence system // *Transfusion*. 2024. №. 64(4). Pp. 590–596.

14. Sniecinski I., Seghatchian J., Putter J.S. Spotlights on novel strategic innovations on the artificial intelligence and deep learning driven quality control focuses in transfusion medicine // *Transfusion and Apheresis Science*. 2025. №. 64(2). Pp. 103–112.
15. Абрамов Л.О. Исследование и создание системы мониторинга параметров технологического оборудования с применением облачного программного обеспечения и нереляционных баз данных // *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО*. 2017. Т. 5. С. 4–7.
16. ISBT 128 Standard: Technical Specification for Blood and Transplant Products. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.isbt128.org/technical-specification> (дата обращения: 15.09.2025).
17. ГОСТ Р 7.0.100–2018. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления. – Введен 01.01.2019. – М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ДАННЫХ

УДК 004.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Абубакурова З.М. (магистрант, КРСУ, Кыргызстан, г. Бишкек)

Научный руководитель: д.т.н., профессор Лыченко Н.М. (КРСУ, Кыргызстан, г. Бишкек)

e-mail: abubazuu@gmail.com

Статья содержит сравнительный обзор графовых нейронных сетей (GNN) для кратко- и среднесрочного прогноза качества воздуха, направленный на преодоление ограничений традиционных точечных методов за счет явного моделирования пространственных зависимостей и физических процессов. Обзор представляет ключевые проектные решения в построении графов, архитектур и интеграции внешних данных и предлагает рекомендации для дальнейшей разработки физически обоснованных и интерпретируемых GNN с целью улучшения управления качеством воздуха и повышения точности прогноза загрязнений.

Ключевые слова: *графовые нейронные сети, прогноз качества воздуха, пространственно-временное моделирование, механизм внимания (GAT), вариационное модовое разложение (VMD).*

Загрязнение воздуха остается одной из главных экологических угроз – от кратковременных эпизодов смога до устойчиво повышенного фона. Для управления рисками нужны надежные краткосрочные и среднесрочные прогнозы, позволяющие заранее информировать население, оптимизировать транспортные потоки и запускать меры по снижению выбросов.

Традиционные «точечные» методы, основанные исключительно на данных отдельных измерительных станций (классические модели временных рядов и нейросетевые предсказатели без учета распределения процессов загрязнения в пространстве), теряют точность именно в ситуациях, где решающим фактором становится перенос примесей между локациями станций. Ветер, застройка и рельеф формируют сложные траектории распространения загрязнений, которые такие модели не учитывают, что приводит к потере информации о пространственной структуре данных. Естественным развитием становится использование моделей, которые учитывают связи между измерительными станциями (узлами) в виде графа и обучаются, сочетая пространственную структуру и динамику во времени [1, 2]. Такой подход позволяет интерпретируемо учитывать территориальные зависимости и обеспечивает более устойчивое качество прогноза на горизонтах 24-72 часов.

При работе с распределенными сенсорными сетями узлы графа соответствуют датчикам или агрегированным группам датчиков, а ребра кодируют степень взаимного влияния – на основе географической близости, схожести временных паттернов, функционального сходства районов и других факторов. Формально задается ориентированный или неориентированный граф датчиков $G(V, E)$, где узлам приписываются признаки (история концентраций загрязнений, временные метки, метеорологические параметры), а ребрам – веса или атрибуты (например, функция расстояния или порог корреляции). Целью является прогнозирование последовательности значений на n шагов вперед для каждого узла, используя исторические данные длиной m шагов. В такой постановке графовые нейронные сети реализуют следующий механизм: каждый узел агрегирует информацию от соседей, взвешенную по ребрам, после чего моделируется динамика процессов на базе различных архитектур ИНС (GRU, LSTM, TCN или др.) [1, 2, 3, 4, 7].

Ряд исследований комбинирует графовые операции с рекуррентными модулями, позволяя выделять как краткосрочные зависимости, так и периодические компоненты (суточные, недельные). При этом подчеркивается, что чисто рекуррентные блоки деградируют на длинных горизонтах, а «ручное» выделение временных признаков может не выявить скрытые зависимости – еще один аргумент в пользу моделей, совместно обрабатывающих пространственные и временные аспекты [1, 2, 4, 5].

В работе [6] авторы демонстрируют, как объединить в едином графе различные типы связей между станциями (по географической дистанции, функциональному назначению районов, схожести временных паттернов и другим признакам) и применить механизм внимания (GAT), который позволяет автоматически и динамически учитывать вклад соседних узлов на каждом временном шаге. Архитектура модели построена по принципу энкодер-декодера, обеспечивая многошаговый прогноз. Показано, что учет разнородных связей и их динамической значимости повышает качество на городских датасетах с пространственно неоднородными источниками загрязнений. Однако эта модель требует поддержки нескольких матриц смежности, тонкой настройки регуляризации и значительного объема обучающих данных. Явные физические поля переноса загрязнений (например, ветер) вводятся косвенно – через весовые коэффициенты внимания, а не в виде строго направленных ребер. Такая конструкция оправдана в случаях, когда географическая близость недостаточна для объяснения межстанционных зависимостей и требуется интерпретировать зависимости через веса внимания, что повысит точность за счет динамически взвешенных многотипных связей.

В [7] предложена практичная и воспроизводимая архитектура, сочетающая графовые свертки (GCN), механизм внимания (GAT) и рекуррентный модуль GRU. Модель учитывает метеорологические параметры и интенсивность дорожного движения, а матрица смежности формируется на основе географических расстояний между станциями. Такой дизайн удобен как базовый ориентир для сравнительного анализа: авторы подробно описывают этапы подготовки выборок, шаг дискретизации и используемые метрики, показывая устойчивое превосходство над классическими LSTM/GRU и GCN при прогнозировании концентрации NO₂. Ограничения этой модели: статическая ненаправленная структура графа не отражает перенос загрязнений (например, по ветру) и не учитывает пространственную анизотропию. Кроме того, эксперименты ограничены горизонтом до 48 часов и одним типом загрязнителя. Тем не менее, архитектура оправдана в сценариях, где требуется быстро развертываемый прототип с учетом внешних факторов (погода, трафик дорожного движения).

В [8] акцентируется внимание на задачах долгосрочного прогнозирования – в диапазоне 72–96 часов. Связи графа формируются с учетом физически обоснованных параметров: используются показатели атмосферной диффузии и сходство концентраций загрязнителей, а также метеорологические данные (например, направление ветра). Архитектура объединяет несколько графовых и временных компонентов (multi-gated graph neural network, блоки с механизмом внимания и рекуррентные слои). Такая комбинация позволяет обеспечивать качество прогноза на горизонтах до четырех суток и отслеживать как суточные, так и сезонные паттерны. Основная особенность подхода – необходимость расчета и настройки физически адекватных весов ребер, а также зависимость качества прогноза от полноты и точности метеоданных региона. Переносимость модели между территориями требует переоценки параметров графа и адаптации к локальным условиям. Подход особенно оправдан в сценариях, где требуется стабильный многосуточный прогноз с явным учетом процессов переноса и рассеивания загрязнений.

Представленный в [9] подход формирует структуру графа и веса ребер динамически на основе расчетов модели HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory): траектории переноса, процессы диффузии и осаждения загрязняющих веществ используются для задания направленных и меняющихся во времени связей между узлами; дополнительно учитываются календарные признаки (сезон, месяц, час и др.), а прогноз выдается декодером с учетом временной структуры. Такой способ обеспечивает высокую физическую обоснованность графа – структура ребер отражает реальные траектории переноса загрязнений, что особенно важно при быстро меняющейся атмосферной циркуляции. Вместе с тем применение модели HYSPLIT делает систему прогноза вычислительно и организационно более ресурсоемкой. Воспроизводимость и переносимость модели зависят от качества входных метеорологических данных, от выбранных параметров расчетов и доступности вычислительных ресурсов. Метод особенно оправдан в случаях, где доминируют

адвекционные процессы и дальний перенос, а граф, построенный исключительно на основе географической близости или корреляции, систематически теряет значимые связи.

В [10] применена двухэтапная схема обработки временного ряда PM_{2.5}. Сначала применяется вариационное модовое разложение (VMD), позволяющее декомпозировать исходный временной ряд на устойчивые компоненты с различными характерными частотами. Затем для каждой компоненты строится собственный пространственный блок с механизмом внимания (GAT), предназначенный для выявления пространственных зависимостей между станциями мониторинга в соответствующем частотном диапазоне. Временные зависимости обрабатываются двунаправленным рекуррентным модулем (BiLSTM), после чего частные прогнозы для компонентов с различными частотами агрегируются. Архитектура повышает устойчивость модели к шуму и позволяет точнее восстанавливать пики и быстрые колебания во временных рядах. В статье приведены сравнения с распространенными архитектурами (GCN-LSTM, STGCN, Transformer-подобные схемы) и результаты вычислительных экспериментов для различного числа компонент и различной глубины слоев, при этом модель показывает преимущество на средних горизонтах прогнозирования (около 24–48 часов). Основные ограничения связаны со сложностью настройки модели (необходимо выбрать оптимальное число компонент и подобрать параметры VMD) и с тем, что процессы переноса не задаются явно через направленные ребра. Кроме того, интерпретация вклада каждой частоты в пространственные зависимости требует отдельного анализа. Подход особенно эффективен при зашумленных данных и выраженной цикличности на суточном и недельном масштабах, где традиционные модели теряют точность.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что на кратких горизонтах прогнозирования в условиях городской неоднородности наибольшую эффективность демонстрируют модели, одновременно учитывающие несколько типов межстанционных связей и их изменяющееся во времени влияние на процессы загрязнения.

Для горизонтов 72–96 часов решающим фактором становится явное включение физических факторов переноса загрязнителей (направление и сила ветра, показатели диффузии), что обеспечивает улучшение прогноза по стандартным метрикам (RMSE, R^2) по сравнению с подходами, игнорирующими пространственную направленность. При наличии шумов и резких колебаний во временных рядах полезна предварительная частотная декомпозиция (например, VMD), повышающая чувствительность к быстрым изменениям в процессах.

С практической точки зрения рекомендуется использовать граф с направленными весами, обусловленными направлением ветра, дополненными расстоянием и, при наличии данных, функциональным сходством районов. Для пространственного агрегирования информации целесообразно применять механизм внимания GAT, а для учета временной динамики – устойчивые архитектуры, такие как GRU или сверточные сети. При выраженной цикличности и шуме оправдано включение этапа VMD.

Дальнейшее развитие видится в переходе к динамическим графам с обновлением ребер по текущей метеобстановке, в регулярной оценке неопределенности прогноза (методы повторной выборки, ансамбли) и в усилении интерпретируемости моделей. Это позволит принимать более обоснованные управленческие решения в области экологического мониторинга и реагирования.

Список использованных источников

1. Li P., Zhang T., Jin Y. A Spatio-Temporal Graph Convolutional Network for Air Quality Prediction // Sustainability. 2023. Vol. 15. №. 9. Art. 7624. DOI: 10.3390/su15097624.
2. Лыченко Н.М. Модели прогноза качества воздуха на основе методов машинного обучения с учетом временных и пространственных зависимостей // Проблемы автоматизации и управления. 2024. №. 3(51). С. 136–145.
3. Devasekhar V., Natarajan P. Prediction of Air Quality and Pollution using Statistical Methods and Machine Learning Techniques // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2023. Vol. 14. №. 4. <https://doi.org/10.48084/etasr.12168>.
4. Bai S., Kolter J. Z., Koltun V. An Empirical Evaluation of Generic Convolutional and Recurrent Networks for Sequence Modeling. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1803.01271> (дата обращения: 14.09.2025).

5. Li D., Yu H., Geng Y.-a., Li X., Li Q. DDGNet: A dual-stage dynamic spatio-temporal graph network for PM2.5 forecasting // В сб.: 2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). Piscataway, NJ: IEEE. 2021. Pp. 1679–1685. – DOI: 10.1109/BigData52589.2021.9671941.
6. Liu H., Han Q., Sun H., Sheng J., Yang Z. Spatiotemporal adaptive attention graph convolution network for city-level air quality prediction // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Art. 13335. DOI: 10.1038/s41598-023-39286-0.
7. Iskandaryan D., Ramos F., Trilles S. Graph Neural Network for Air Quality Prediction: A Case Study in Madrid // IEEE Access. 2023. Vol. 11. Pp. 2730–2742. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3234214.
8. Kim D.-Y., Jin D.-Y., Suk H.-I. Spatiotemporal graph neural networks for predicting mid-to-long-term PM2.5 concentrations // Journal of Cleaner Production. 2023. Vol. 425. Art. 138880. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138880.
9. Liao H., Yuan L., Wu M. A spatiotemporal graph neural network with multi granularity for air quality prediction. [Электронный ресурс]. Режим доступа: paper2.pdf (дата обращения: 17.09.2025).
10. Wang X., Zhang S., Chen Y., He L., Ren Y., Zhang Z., Li J., Zhang S. Air quality forecasting using a spatiotemporal hybrid deep learning model based on VMD–GAT–BiLSTM // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Art. 17841. DOI: 10.1038/s41598-024-68874-x.

УДК 004.822

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ LLM НА ОСНОВЕ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Гавриленко О.Р. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: инженер Ковальчук М.А. (ИТМО)

e-mail: olga.gavrilenko@niuitmo.ru

Исследование направлено на изучение возможностей структурирования текстовых данных для формирования онтологий с использованием больших языковых моделей (LLM). Выбранная тема имеет высокую роль в сфере искусственного интеллекта, так как автоматизация построения онтологий может использоваться в различных областях: строительной, образовательной, юридической и так далее. В работе сравниваются два подхода: кластеризация сущностей с использованием существующих решений и кластеризация сущностей с использованием больших языковых моделей. Результаты показали, что классические алгоритмы формирования иерархии узлов показывают результаты лучше, чем современные большие языковые модели. Оба метода формируют практически одинаковое количество узлов, однако плотность у SCC выше в 3,7 раз, а количество сформированных связей – в 4,1 раза.

Ключевые слова: кластеризация, онтология, большие языковые модели, граф знаний, обработка естественного языка, векторизация вершин графа.

В настоящее время структурирование знаний для построения онтологий имеет высокую роль для человека, так как позволяет систематизировать большое количество информации, сокращая временные ресурсы в n раз [1]. Данный процесс может быть полезен в различных областях: строительной [2], образовательной [3], юридической [4], медицинской [5] и т.д. Многие исследователи активно проверяют различные способы для структурирования знаний, в частности, используя предобученные модели [6] и глубокие нейронные сети [7].

Таким образом, целью настоящего исследования является разработка метода структурирования текстовых данных, извлеченных из построенной онтологии путем использования больших языковых моделей. Для достижения поставленной цели используются различные методы: one-shot, few-shot, методы сильных компонент связности, гибридный метод семантического сравнения с использованием сильных компонент связности. Теоретическая значимость работы заключается в проверке гипотезы о возможности формирования онтологий с помощью больших языковых моделей. Практическая значимость реализации заключается в возможности применения алгоритма выделения сущностей в области строительства для кластеризации выделенных с помощью большой языковой модели узлов графа, что позволяет представить онтологию в более удобном виде для хранения большого количества информации.

Обзор литературы

В современном мире существуют различные аналоги для решения проблемы с автоматизированным построением онтологии: трансформеры, предобученные большие языковые модели, глубокие нейросети и гибридные методы. Тенденцию набирает последний предложенный метод с использованием LLM.

В статье [8] авторы используют алгоритм, который автоматически переводит естественный язык в логику описаний (Description Logic) для создания онтологий из текстов. Далее используется генерация OWL – онтологий с помощью больших языковых моделей для формирования онтологических конструкций, чтобы добавить новые сущности и связи в существующую онтологию.

В статье [9] авторы описывают об использовании предобученных LLM (BERT) для извлечения знаний из текстовых документов, создания онтологических структур на основе выделенных сущностей, а также для улучшения семантического понимания информации.

В статье [10] авторы рассказывают о гибридных методах. В гибриде используются такие глубокие нейронные сети, как BiLSTM-CRF, BERT, Transformer совместно с составленными

авторами правилами и предобученными моделями: DeepPavlov, Stanza, spaCy. Использованные модели:

- BiLSTM - CRF – это модель, сочетающая слои BiLSTM и CRF для распознавания именованных сущностей в задачах обработки естественного языка [11];
- BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) — это нейронная сеть, разработанная, в которой применяется двунаправленное обучение трансформеров (популярной модели с механизмом “внимания”) к языковому моделированию. Этот подход идет в разрез с предыдущими работами, которые рассматривали текстовую последовательность либо только слева направо, либо сочетали обучение слева направо и справа налево [12];
- трансформер – это разновидность нейронных сетей (Neural Network), которая использует концепцию внимания и эффективнее предшественников обрабатывает массивы данных с множеством признаков (Feature) [13];
- DeepPavlov – это фреймворк с открытым исходным кодом для разработки чат-ботов и виртуальных помощников. Он имеет комплексные и гибкие инструменты, которые позволяют разработчикам NLP создавать готовые к производству разговорные навыки и сложные многофункциональные разговорные помощники [14];
- Stanza – это набор точных и эффективных инструментов для лингвистического анализа многих человеческих языков. Начиная с сырого текста, Stanza делит его на предложения и слова, а затем может распознавать части речи и сущности, выполнять синтаксический анализ и многое другое. Stanza привносит самые современные модели NLP в языки по вашему выбору [15];
- spaCy – это библиотека Python, которая интегрирует большие языковые модели, предлагая модульную систему для быстрого прототипирования и подсказок, а также превращая неструктурированные ответы в надежные результаты для различных задач обработки естественного языка, при этом не требуются данные для обучения [16].

Постановка задачи

Целью данного исследования является разработка алгоритма кластеризации вершин граф с помощью использования большой языковой модели из сформированной онтологии на данных текстового документа. В качестве примера были выбраны данные из строительной сферы, на основе которых построена кластеризованная онтология с помощью LLM – Qwen.

Для решения поставленной задачи необходимо провести следующие шаги:

1. Выделить сущности, свойства и отношения для построения онтологии в виде графа.
2. Реализовать модуль, который из полученного графа будет кластеризовать вершины графа в новый граф.
3. Реализовать модуль, который кластеризует построенные кластеры с помощью LLM – модели и назвать их.
4. Реализовать модуль, который сможет кластеризовать узлы и параллельно кластеризовать кластеры с помощью LLM – модели.
5. Построить вручную граф с кластерами для возможности расчета метрик построенного графа с помощью большой языковой модели.
6. Найти инструменты для визуализации графового представления онтологий и сравнить их между собой.

Задачей данного исследования является кластеризация сущностей, выделенных из текстовых документов, с помощью больших языковых моделей для формирования иерархической онтологии. На вход в алгоритм кластеризации подается json-файл с выделенными сущностями, свойствами и отношениями, в первом алгоритме на выходе формируется json-файл с кластерами по сущностям. Далее тот же файл передается в алгоритм кластеризации сущностей с помощью LLM и на выходе пользователь получает json-файл со сгруппированными сущностями с названиями кластеров для формирования и визуализации иерархической онтологии.

Методы

1. Описание данных

Текстовые данные, используемые для данного исследования, были получены из открытых источников с нормативами строительной области. Текстовый документ – это свод строительных правил, который состоит из титульного листа, сведения о своде правил, содержания, основной части, состоящей из правил по строительным объектам и приложений. Данный документ разделялся на нужную информацию – основная часть и та, которая не несла полезной информации – содержание, приложение с картинками и т.д. На вход алгоритм получал один абзац, абзацы отправлялись поочередно.

2. Описание экспериментов

2.1. Базовое решение

Для того, чтобы кластеризовать узлы графа, выделенные с помощью LLM, необходимо задать определенные правила для их сравнения, чтобы алгоритм мог найти похожие между собой сущности и выделить в кластеры. В данном исследовании для определения похожих вершин графа использовались сильные компоненты связности и семантическое сравнение.

Для кластеризации использовалось 1420 сущностей, выделенных с помощью Qwen. Некоторые сущности дублировались, поэтому для этого была написана обработка, что если алгоритм находит уже существующую сущность, то он ее удаляет и не добавляет в кластер. В файле имеется контекст для каждой сущности, который в данном случае не используется, но может понадобиться для дальнейших исследований.

2.2. Сильные компоненты связности

Сильные компоненты связности (KCC, Strongly Connected Component, SCC) – это максимальное подмножество вершин ориентированного графа, в котором для любых двух вершин u и v существует путь из u в v и путь из v в u , то есть из любой вершины компоненты сильной связности можно достичь любую другую вершину этой же компоненты, следуя по направленным рёбрам графа [17].

В данном исследовании целью алгоритма с использованием сильных компонент связности является создание ориентированного графа из json – файла, после чего находятся все сильные компоненты связности и отфильтровываются так, чтобы кластеры содержали более одной вершины, то есть кластеры взаимно связанных сущностей.

Алгоритм содержит следующие шаги:

1. Загрузка групп данных из json – файла с содержанием множества «entity_node».
2. Построение ориентированного графа – графа, в котором каждое ребро имеет направление от одной вершины к другой с использованием библиотеки NetworkX. Критично построить именно ориентированный граф, так как одно из условий для поиска сильных компонент.
3. В граф добавляются узлы и ребра для каждой сущности. Рёбра добавляются, если relation $\neq$ "следует за", то есть учитываются только содержательные связи, а не просто последовательность. Этот шаг необходим потому, что ребра формируют структура ориентированного графа, в котором будут найдены компоненты сильной связности.
4. Далее для поиска сильных компонент используется алгоритм Тарьяна, в котором:
 - выполняется DFS-поиск по всем вершинам графа. DFS-поиск – это один из базовых алгоритмов обхода графа, при котором алгоритм как можно глубже проходит по пути от начальной вершины, прежде чем вернуться назад и исследовать другие пути;
 - формируется стек текущего пути: вершина посещается и сохраняется в стек, и так происходит, пока алгоритм не доходит до конца, где дальше идти некуда;
 - каждая вершина получает index и lowlink – минимальный индекс достижимой вершины;
 - когда index == lowlink, значит найдено основание компоненты и узлы из стека формируют сильную компоненту связности;
 - после фильтруются стеки с одной вершиной, а другие – остаются. Таким образом, появляются кластеры.

2.3. Семантическое сравнение с использованием сильных компонент связности

Семантическое сравнение – это алгоритм, который обрабатывает естественный язык и определяет имеют ли слова похожий смысл с помощью преобразования в векторное представление слов. Сложность алгоритма заключается в том, что слова имеют синонимы, которые не похожи друг на друга, поэтому прямое сравнение строк тут не работает и нужен подход, который сравнивает смысл. Для этого в данном исследовании используется библиотека SentenceTransformer, которая генерирует векторные представления фиксированной длины для предложений или более длинных фрагментов текста, в отличие от традиционных моделей, которые фокусируются на встраиваниях на уровне слов.

Алгоритм содержит следующие шаги:

1. Скачивается модель SentenceTransformer('paraphrase-MiniLM-L6-v2') для работы с семантическими векторными представлениями текста и загружается модель MiniLM, обученная на задаче сравнения смыслов предложений.
2. Далее используется функция is_similar_entity, которая берет сущности и переводит его в вектор (эмбеддинг). Далее функция сравнивает вектор с векторами добавленных сущностей. Если сходство ≥ 0.85 (по умолчанию), сущности считаются семантически одинаковыми и возвращается существующее имя. В ином случае появляется новая сущность.
3. После этого создается ориентированный граф со списком сущностей. Далее проходим по всем сущностям (entity_node) в каждом блоке данных и проверяем есть ли похожая сущность в графе: если нет, тогда создается новый узел, если да, тогда используется имя существующей сущности.
4. В следующем шаге для каждой сущности добавляются ребра и семантически проверяются сущности. Если связь не «следует за», то создается дуга в графе для отображения отношений между двумя не следующими друг за другом сущностями.

В итоге использования двух алгоритмов получилось, что с использованием сильных компонент связности метод сформировал 32 кластера, а с дополнительным использованием семантического сравнения метод сформировал только 1 кластер.

Данная ситуация могла возникнуть в том случае, если семантическое сравнение сильно сокращает количество узлов. Это происходит из-за того, что в графе может быть много похожих, но не одинаковых сущностей и SCC рассматривает эту ситуацию как разные кластеры, а семантическое сравнение связывает в единый узел. Для данной задачи нас устраивает результат сильных компонент связности, так как данный метод показывает точные связи, в то время как семантика может объединять похожие смыслы в один узел.

2.4. Расширенный алгоритм с LLM

LLM – модель – это алгоритм, обученный на огромных массивах данных, собранных из различных источников (документы, литература, сайты и т.д.). В данном случае большая языковая модель дополняет предыдущий алгоритм кластеризации узлов и кластеризует полученные кластеры. Это необходимо для того, чтобы при формировании и визуализации иерархической онтологии была возможно сгруппировать сущности в кластеры и раскрывать только интересующие, то есть необходимо для удобства хранения большого количества информации.

Алгоритм содержит следующие шаги:

1. Необходимо загрузить json – файл со всеми полученными кластерами.
2. Необходимо построить ориентированный граф:
 - в котором каждая entity_node становится узлом графа с атрибутами: entity, description, type;
 - для каждого узла необходимо добавить ребра для связи с другими сущностями. При этом связь «следует за» игнорируется, так как она строится для правильного перебора entity_node.
3. Необходимо подать список сущностей на вход и извлечь их описание.

4. Необходимо сформулировать промпт для LLM и использовать prompt engineering для подсказки LLM, чтобы улучшить качество генерации кластеров.

Например,

```
example = ""
```

Пример:

Сущности: ['отметка 0,000', 'объект капитального строительства', 'отметки', 'наружная стена', 'место с максимальной разностью отметок']

Описания: отметка 0,000: базовая геодезическая отметка; объект капитального строительства: здание или сооружение; ...

Название: Геодезические параметры строительных объектов

```
"".strip()
```

```
prompt = f""
```

"Ты должен объединять сущности, если они похожи по смыслу, не меньше двух, можно больше, и давать им краткое, точное название. Название не должно содержать вводных слов, вроде 'Название группы' или 'Эта группа описывает'. Просто название."

```
{example}
```

Сущности: {'', '.join(cluster)}

Описания: {[f'{e['name']}: {e['description']}' for e in entities_info]}

Придумай точное и краткое название (3–4 слова), отражающее общую суть группы.

Название:

```
"".strip()
```

5. Необходимо отправить запрос большой языковой модели для генерации кластеров.
6. Сущности группируются по смыслу в кластеры, который распознает большая языковая модель – Qwen.
7. Большая языковая модель называет каждый кластер по смыслу, в зависимости от групп сущностей.

3. Используемые модели

Для того, чтобы выделить сущности из текстового документа, были рассмотрены следующие LLM: GPT4-o, MistralAI Pixtral Large, Gemini Flash, Qwen-3 и DeepSeek-V3. В каждую модель были отправлены одинаковые промпты и одинаковые текстовые данные. Эксперименты выполнялись с использованием языка программирования Python 3.12 совместно со следующими библиотеками: langchain-community 0.3.24, langchain-core 0.3.62.

4. Используемые метрики

Для оценки качества построенных графов будем использовать различные метрики качества, которые будут объяснять статистику по построенным графам, тем самым объясняя какую онтологию можно будет использовать в дальнейших исследованиях:

1. num_nodes – количество узлов в графе.
2. num_edges – метрика, показывающая количество связей в графе.
3. density – отношение числа рёбер к максимально возможному числу рёбер в графе. Измеряет, насколько граф "плотный" или "разреженный".
4. average_degree(средняя степень узла) – среднее число рёбер, инцидентных каждому узлу. Показывает, с каким количеством других узлов в среднем связана каждая вершина.
5. degree_std (стандартное отклонение степеней узлов) – мера разброса значений степеней узлов. Показывает, насколько сильно варьируется количество связей у узлов.
6. degree_entropy (энтропия распределения степеней) – мера разнообразия распределения степеней узлов. Высокое значение означает, что распределение степеней более равномерное и разнообразное, низкое – концентрация вокруг нескольких значений.
7. avg_degree_centrality (средняя степень центральности) – среднее значение степени центральности по всем узлам. Степень центральности узла – доля узлов, с которыми он напрямую связан (нормированное значение степени).

8. `avg_closeness` (средняя близость) – среднее значение близости для узлов графа. Близость узла – обратная величина средней длины кратчайших путей от этого узла до всех остальных. Показывает, насколько быстро узел может "достичь" другие узлы.
9. `avg_betweenness` (средняя посредническая центральность) – среднее значение посреднической центральности по узлам. Посредническая центральность измеряет, насколько часто узел лежит на кратчайших путях между другими узлами, то есть его "влияние" на поток информации.
10. `avg_clustering` (средний коэффициент кластеризации) – среднее значение локального коэффициента кластеризации по всем узлам. Коэффициент кластеризации показывает, насколько соседи узла связаны между собой.
11. `laplacian_spectral_radius` (спектральный радиус лапласиана) – максимальное собственное значение матрицы лапласиана графа. Используется для анализа связности и устойчивости графа.
12. `laplacian_trace` (след матрицы лапласиана) — сумма всех собственных значений матрицы лапласиана. Для неориентированного графа равен сумме степеней всех узлов.

Результаты

Сравнение алгоритмов кластеризации узлов графа

Для начала необходимо сравнить алгоритмы кластеризации вершин с построенным вручную графом. Результаты расчета метрик по алгоритмам представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты алгоритмов кластеризации узлов графа

	Baseline	SCC	SCC + Semantic
<code>num_nodes</code>	1415	282	69
<code>num_edges</code>	1721	14903	2346
<code>density</code>	0,0009	0,3761	1,0000
<code>average_degree</code>	2,4325	105,6950	68,0000
<code>degree_std</code>	5,4453	81,6742	0,0000
<code>degree_entropy</code>	9,5596	1,9363	0,0000
<code>num_clusters</code>	32	32	1
<code>avg_degree_centrality</code>	0,0017	0,3761	1,0000
<code>avg_closeness</code>	0,0158	0,3761	1,0000
<code>avg_betweenness</code>	0,0003	0,0000	0,0000
<code>avg_clustering</code>	0,0320	0,9078	1,0000
<code>laplacian_spectral_radius</code>	2,0000	2,0000	1,0147
<code>laplacian_trace</code>	1317,8000	282,0000	69,0000
<code>time</code>	4 s 48 ms	1 min 36 sec	6 min 46 sec

Далее необходимо сравнить методы кластеризации вершин графа с использованием различных больших языковых моделей. Результаты представлены в таблице 2.

В таблице 1 и в таблице 2 в строках представлены алгоритмы: Baseline – базовый алгоритм формирования иерархий, SCC – сильные компоненты связности, Semantic + SCC – алгоритм, использующих семантическое сравнение и сильные компоненты связности для создания кластеров и LLM – большие языковые модели Qwen-3 и GPT-5-mini.

Обсуждение

Изучая таблицу 2, можно сделать вывод, что алгоритм использующий только сильные компоненты связности показывают результат лучше, чем комбинированный и базовый. Алгоритм SCC создает больше ребер и узлов, чем SCC+Semantic, что говорит о большем количестве учтенных сущностей, при этом данный граф характеризуется плотностью 38%, что означает наличие значительного, но не чрезмерного числа связей между сущностями. В то время, как в комбинированном графе содержится только 1 кластер и плотность равна 1, что совершенно не соответствует графу в 1400 сущностей. Высокое стандартное отклонение и энтропия в SCC отражают неоднородность узлов с наличием как ключевых требований, так и изолированных элементов, что соответствует реальному распределению значимости, тогда

как в SCC+Semantic равное количество связей у всех узлов создаёт искусственную и менее информативную структуру. При этом если смотреть на базовый алгоритм, то его плотность слишком маленькая, что говорит о разреженном графе.

Таблица 2. Результаты алгоритма кластеризации LLM и SCC

	GPT-5-mini	Qwen
num_nodes	1420	282
num_edges	3602	315
density	0,0949	0,0080
average_degree	26,1014	2,2340
degree_std	30,2921	3,3319
degree_entropy	7,2552	7,5299
num_clusters	276	32
avg_degree centrality	0,0949	0.0080
avg_closeness	0,3840	0,1000
avg_betweenness	0,0046	0,0039
avg_clustering	0,3919	0,0645
laplacian_spectral_radius	1,8368	2,0000
laplacian_trace	261.0000	282,0000
time	1 h 5 m	9 h 40 min

Следовательно, можно сделать вывод, что для поставленной задачи лучше всего подойдет алгоритм сильных компонент связности для строительной сферы. Алгоритм обеспечивает более комплексное и реалистичное представление предметной области с достаточной детализацией и структурированием по тематическим кластерам.

По представленным результатам в таблице 3 можно сделать вывод, что метрики GPT-5-mini показывают результат лучше, чем Qwen-3. У GPT количество ребер сильно больше в 11 раз, что говорит о более семантически связанном графе. Смотря на метрику avg_clustering, можно увидеть, что средняя кластеризация у GPT больше, что означает большее количество замыканий, соответственно, более устойчивые ассоциации. Помимо этого, производительность Qwen-3 хуже практически в 10 раз. Также рассматривая метрику num_nodes, можно увидеть, что количество сущностей для формирования иерархии у GPT-5-mini больше в 5 раз, что показывает более полный граф знаний.

Таким образом, сравнивая два подхода, можно сделать вывод, что на данный момент классический метод сильных компонент связности показывает результаты формирования иерархии узлов лучше, чем большие языковые модели. Смотря на метрику num_edges, при практически одинаковом количестве кластеров SCC сформировала связей между узлами в четыре раза больше, чем GPT-5-mini. Также алгоритм сильных компонент связности формирует более устойчивый граф, чем большая языковая модель, что можно увидеть по метрике density.

Заключение

Использование больших языковых моделей для автоматического извлечения и структурирования знаний из текстовых данных в строительной сфере демонстрирует значительный потенциал и актуальность. LLM существенно сокращают время формирования списков сущностей, свойств и отношений, позволяя быстро создавать онтологии или генерировать OWL-файлы, что вручную может занимать недели.

Анализ метрик графов показывает, что построение иерархической структуры на основе сильных компонент связности даёт очень плотный и детализированный граф с большим числом связей, отражающий высокую комплексность и взаимосвязанность требований. Однако такая насыщенность связей усложняет анализ из-за избыточности и повышенной сложности интерпретации.

В то же время графы, построенные с помощью LLM, более разрежены и обладают сбалансированным распределением связей с меньшим уровнем шума, что облегчает

интерпретацию и выделение ключевых сущностей и их смысловых групп. Это подтверждает, что LLM лучше подходят для этапа кластеризации и смыслового объединения сущностей, поскольку способны учитывать контекст и семантику — задачу, которая вручную является трудоемкой и ресурсоемкой.

Таким образом, SCC и LLM дополняют друг друга: SCC обеспечивают глубокий охват и детальность взаимосвязей, а LLM позволяют получить более управляемую и осмысленную структуру, удобную для дальнейшего анализа и использования. При этом правильный подбор и настройка промптов в LLM оказывают существенное влияние на качество формируемых кластеров и связей.

В итоге интеграция методов на основе LLM в процесс структурирования знаний является перспективным направлением, способствующим оптимизации традиционных подходов и созданию более качественных и интерпретируемых онтологических моделей в строительной сфере.

Список использованных источников

1. Noy N.F., McGuinness D.L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf (дата обращения: 14.08.2025).
2. Matějka P., Tomek A. Ontology of BIM in a Construction Project Life Cycle // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 196. Pp. 1080–1087. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.065.
3. Rahayu N.W., Ferdiana R., Kusumawardani S.S. A systematic review of ontology use in E-Learning recommender system // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 3. Article 100047. DOI: 10.1016/j.caeai.2022.100047.
4. Hoekstra R., Breuker J., Di Bello M., Boer A. The LKIF Core Ontology of Basic Legal Concepts // *Proceedings of the 2nd Workshop on Legal Ontologies and Artificial Intelligence Techniques (LOAIT 2007)*, 4 June 2007, Stanford, CA, USA. *CEUR Workshop Proceedings*. 2007. Vol. 321. Pp. 43–63.
5. Smith B., Ashburner M., Rosse C., Bard J., Bug W., и др. The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration // *Nature Biotechnology*. 2007. Vol. 25. №. 11. Pp. 1251–1255. DOI: 10.1038/nbt1346.
6. Funk M., Hosemann S., Jung J.C., Lutz C. Towards Ontology Construction with Language Models. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lm-kbc.github.io/workshop2023/proceedings/16_Funk.pdf (дата обращения: 23.08.2025).
7. Hohenecker P., Lukasiewicz T. Ontology Reasoning with Deep Neural Networks // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2020. Vol. 68. Pp. 503–540. DOI: 10.1613/jair.1.11661.
8. Mateiu P., Groza A. Ontology engineering with Large Language Models. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2307.16699> (дата обращения: 23.08.2025).
9. Ma K., Tian M., Tan Y., Qiu Q., Xie Z., Huang R. Ontology-Based BERT Model for Automated Information Extraction from Geological Hazard Reports // *Journal of Earth Science*. 2023. Т. 34. №. 5. Pp. 1390–1405. DOI: 10.1007/s12583-022-1724-z.
10. Кузнецов М.Д. Поиск и извлечение именованных сущностей из корпуса пользовательских соглашений // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2025. Т. 18. №. 3. С. 78–86. DOI: 10.32603/2071-8985-2025-18-3-78-86.
11. Huang Z., Xu W., Yu K. Bidirectional LSTM-CRF Models for Sequence Tagging. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1508.01991> (дата обращения: 27.08.2025).
12. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aclanthology.org/N19-1423.pdf> (дата обращения: 27.08.2025).
13. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser Ł., Polosukhin I. Attention Is All You Need. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://papers.neurips.cc/paper/7181-attention-is-all-you-need.pdf>; также: arXiv:1706.03762. DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762 (дата обращения: 28.08.2025).
14. Burtsev M., Seliverstov A., Airapetyan R., Arkhipov M., Baymurzina D., Bushkov N., и др. DeepPavlov: Open-Source Library for Dialogue Systems. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aclanthology.org/P18-4021/> (дата обращения: 28.08.2025).
15. Qi P., Zhang Y., Zhang Y., Bolton J., Manning C.D. Stanza: A Python Natural Language Processing Toolkit for Many Human Languages. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aclanthology.org/2020.acl-demos.14.pdf> (дата обращения: 30.08.2025).
16. Honnibal M., Montani I., Van Landeghem S., Boyd A. spaCy: Industrial-strength Natural Language. [Электронный ресурс]. Режим доступа: программное обеспечение. Zenodo, 2020. DOI: 10.5281/zenodo.1212303 (дата обращения: 01.09.2025).
17. Tarjan R. Depth-First Search and Linear Graph Algorithms // *SIAM Journal on Computing*. 1972. Т. 1. №. 2. Pp. 146–160. DOI: 10.1137/0201010.

УДК 681.518.5, 004.89

ОБНАРУЖЕНИЕ НАРУШЕНИЙ КРЕПЛЕНИЯ ДАТЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ КАСКАДА АВТОЭНКОДЕРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ В ВИБРОДИАГНОСТИКЕ

Галышев Д.В. (студент, ЮУрГУ), Яковенко А.Д. (аспирант ЮУрГУ)

Научный руководитель: к. ф.-м.н., Ибряева О.Л. (ЮУрГУ)

e-mail: galyshevdy@susu.ru, iakovenkoad@susu.ru, ibriaevaol@susu.ru

Предложен метод диагностики состояния подшипника по сигналам вибрации. Для извлечения признаков используется кодирование в виде коэффициентов линейного предсказания и двухступенчатый сверточный автоэнкодер для определения состояния. Метод позволяет обнаружить аномалии в работе подшипников в условиях полного отсутствия данных о неисправностях, устраняя при этом ложные срабатывания вызванные неисправностью средства измерения. Работоспособность предложенного метода подтверждена на лабораторных данных с подшипниками в различных состояниях и условиях крепления датчика.

Ключевые слова: *вибродиагностика, ослабленное крепление датчика, обнаружение аномалий, технический мониторинг, спектральный анализ, отсутствие обучающих данных, недостоверность измерений.*

Подшипники качения являются критически важными элементами современных механических систем, применяемых в авиационной, автомобильной промышленности и станкостроении [1]. Надёжность их работы напрямую влияет на безопасность и экономическую эффективность эксплуатации оборудования [2]. В связи с этим задача своевременного выявления дефектов подшипников остаётся актуальной и требует разработки новых, более эффективных методов диагностики.

Традиционные подходы к диагностике основаны на анализе вибрационных сигналов с использованием различных методов обработки [3], охватывающих как временную, так и спектральную области. Методы временного анализа, как правило, опираются на извлечение статистических характеристик сигнала, тогда как спектральный анализ позволяет напрямую выявлять частотные компоненты, характерные для определённых типов дефектов [4, 5]. Отдельные исследования подчёркивают важность спектрального анализа в области резонанса датчика, где амплитуда полезных сигналов, связанных с дефектами, значительно возрастает, что улучшает чувствительность диагностики [6, 7, 8]. Вместе с тем традиционные методы нередко требуют сложного подбора признаков и подвержены воздействию шумов, что снижает их эффективность на ранних стадиях обнаружения дефектов.

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к использованию методов искусственного интеллекта и машинного обучения, которые позволяют автоматически извлекать скрытые закономерности из данных и обеспечивать более высокую точность диагностики [9, 10]. Однако такие подходы требуют значительных вычислительных ресурсов и больших объёмов размеченных данных, что ограничивает их практическое применение в производственной среде [11, 12, 13].

Для преодоления проблемы нехватки обучающих данных были предложены различные решения: методы повторных выборок, адаптация предварительно обученных моделей, а также расширение набора данных с помощью генеративно-состязательных сетей и аугментации [14–17]. Несмотря на их эффективность, все эти методы по-прежнему требуют наличия дефектных образцов. В этом контексте особый интерес представляют подходы, основанные на поиске аномалий, где активно применяются автоэнкодеры [18–21]. Их ключевым преимуществом является способность работать без использования дефектных данных. Тем не менее, одной из основных проблем таких моделей остаются ложные срабатывания, возникающие из-за шума, ограниченного объёма обучающих данных или нестандартных режимов работы [22]. Одним из факторов, провоцирующих ложные срабатывания, являются искажения, вызванные неисправностью самого измерительного оборудования. Так, например, нарушение крепления акселерометра может изменить его резонансную частоту, что приводит к искажению

спектрального состава сигнала и, как следствие, снижает повторяемость и надёжность исходных данных, на которых впоследствии строится весь процесс обработки [23].

В данной работе предлагается подход, ориентированный на обеспечение достоверности данных, поступающих от средств измерений в условиях цифровой индустрии. Основу метода составляет каскад автоэнкодеров: первая модель выполняет обнаружение аномалий в сигнале, а вторая – оценку корректности функционирования самой измерительной системы. Для предварительной обработки применяется метод линейного предсказания, позволяющий сжать спектральную информацию до компактного набора регрессионных коэффициентов.

Предложенный подход направлен на решение трёх ключевых задач: нехватки размеченных данных, высокой вычислительной сложности современных моделей и чувствительности к артефактам, возникающим вследствие сбоев в измерительном оборудовании. Метод позволяет повысить достоверность измерений, реализуя при этом вычислительно эффективный алгоритм обработки, не требующий дефектных образцов или априорных знаний о характере сигналов и условиях измерения. Полученные результаты могут быть использованы и в более широком классе задач технического контроля, где критически важно различать реальные неисправности оборудования и искажения, вызванные нарушениями в работе измерительной аппаратуры.

Предобработка сигналов

Перед началом анализа сигналы с акселерометра по трем осям проходят преобразование в спектр амплитуд с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Затем из полученного спектра выделяется определённый частотный интервал: нижний порог устанавливается таким образом, чтобы отфильтровать низкочастотные помехи, чаще всего вызванные посторонними вибрациями и механическим шумом, не относящимися к дефектам подшипника. Верхний предел частот подбирается с запасом, чтобы включить в анализ возможную резонансную область чувствительного элемента датчика.

Спектр, полученный в результате преобразования, включает большое количество коэффициентов, что создает сложности при прямом применении в алгоритмах машинного обучения — в первую очередь, из-за высокой размерности и наличия избыточной информации. Чтобы уменьшить вычислительную нагрузку и выделить наиболее значимые характеристики, спектральные данные дополнительно обрабатываются с использованием метода линейного предсказательного кодирования (Linear Predictive Coding, LPC).

Несмотря на то, что метод LPC применяется преимущественно в области анализа и кодирования речевых сигналов, он также успешно показал себя в задачах классификации дефектов подшипников. Так, например, применение LPC позволяет эффективно сжать исходный амплитудный спектр сигнала, что приводит к значительному сокращению вычислительной сложности модели без потери точности классификации [24].

Основное предположение метода LPC заключается в том, что текущий отсчёт временного ряда $s[n]$ может быть аппроксимирован в виде линейной комбинации Q предыдущих отсчётов:

$$s[n] = - \sum_{i=1}^Q a_i \cdot s[n - i],$$

где Q – порядок модели, а a_i – коэффициенты линейного предсказания [25]. Таким образом, прогнозируемое значение сигнала $\hat{s}[n]$ в каждый момент времени вычисляется на основе предшествующих отсчётов.

Для эффективного вычисления оптимальных коэффициентов линейного предсказания используется алгоритм Левинсона–Дарбина. Данный итеративный метод позволяет решить систему нормальных уравнений (Юла–Уокера), начиная с модели первого порядка и рекурсивно повышая порядок до достижения заданного Q .

Этап LPC кодирования позволяет сжать спектральную информацию до фиксированного набора LPC-коэффициентов, переходя от обработки длинных спектров к более компактному

представлению. Так как набор коэффициентов вычисляется для каждой из осей датчика то метод применяется к каждой из осей по отдельности, давая таким образом на выходе матрицу вида:

$$S = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,p} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,p} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & \dots & a_{3,p} \end{pmatrix},$$

где p – выбранный порядок для метода LPC.

Модель каскада автоэнкодеров

Предложенная каскадная модель на основе автоэнкодеров представлена на рис. 1. После преобразования сигналов с акселерометра и вычисления LPC-коэффициентов формируется объединённая матрица признаков, которая подаётся на вход первого автоэнкодера.

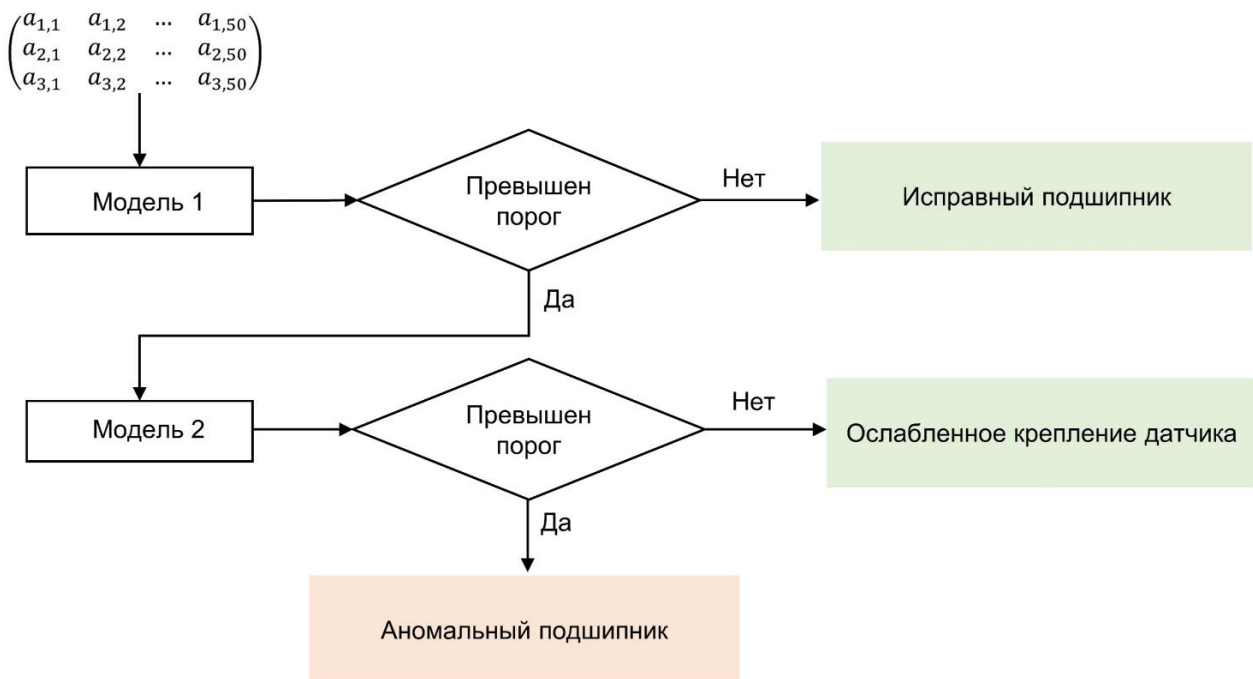


Рис. 1. Схема предлагаемой каскадной модели на основе автоэнкодеров

Первая модель обучается исключительно на данных, соответствующих нормальному функционированию оборудования, и используется для выявления отклонений от стандартного поведения. Если ошибка восстановления превышает порог, фиксируется наличие аномального сигнала, после чего данные перенаправляются на второй автоэнкодер для дальнейшей обработки.

Второй автоэнкодер отвечает за проверку достоверности данных, полученных от измерительного оборудования. Его обучение производится на примерах сигналов, полученных при нарушении крепления датчика, что позволяет различать реальные дефекты подшипников и искажения, вызванные неправильной установкой акселерометра. Такой подход обеспечивает верификацию измерений и помогает избежать ложных выводов о техническом состоянии оборудования.

Для определения порогового значения обеих моделей автоэнкодеров используется правило пяти сигм:

$$\text{Threshold} = \mu_{\text{train}} + 5\sigma_{\text{train}},$$

где μ_{train} – средняя ошибка восстановления, а σ_{train} – соответствующее стандартное отклонение на обучающей выборке, различной для каждой из моделей. Так как ошибка

восстановления каждого из автоэнкодеров может содержать случайные колебания осуществляется сглаживание ошибки реконструкции с использованием скользящего окна.

Экспериментальные данные

Для тестирования предлагаемого метода был использован набор данных, полученный на экспериментальной установке SpectraQuest, оборудованной трёх осевым акселерометром AP2038P-100, обладающим резонансной частотой 35 кГц. В рамках эксперимента использовались два дюймовых подшипника: первый – эталонный (в исправном состоянии) и второй – с преднамеренно созданным дефектом внешнего кольца, выступающий в качестве аномального. Частота вращения в процессе измерений была зафиксирована на уровне 50 Гц, что соответствует стандартному режиму функционирования электродвигателя.

В рамках эксперимента были зарегистрированы четыре типа сигналов, соответствующих: полностью исправному подшипнику, исправному подшипнику с нарушенным креплением датчика, подшипнику с дефектом внешнего кольца, а также подшипнику с тем же дефектом при плохом закреплении датчика. Все измерения проводились с частотой дискретизации 100 кГц. Четыре первых сегмента записывались по 2,5 минуты каждый, а пятый – продолжительностью 2 секунды. В результате суммарная длительность записей для каждого класса составила 12 минут.

На рисунке 2 приведены сигналы и спектры сигналов для случая исправного подшипника в случае хорошего и плохого закрепления. Как можно видеть ослабление крепления датчика приводит к сильному искажению спектра, что может повлиять и на модель диагностики.

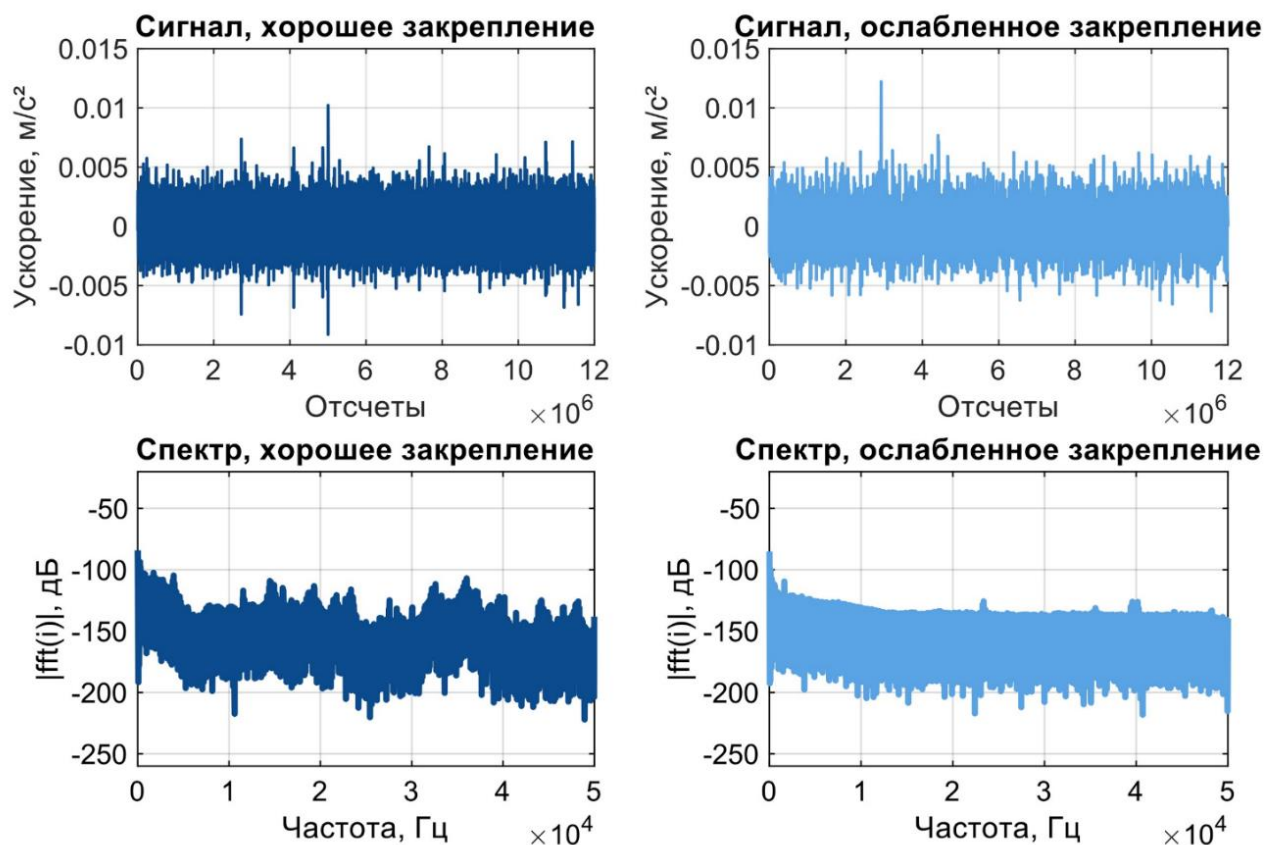


Рис. 2. Сигналы и их спектры, полученные для исправного подшипника в случаях различного закрепления датчика

В начале обработки экспериментальных данных исходные временные сигналы разбивались на короткие отрезки с фиксированной длиной. Согласно другим работам, оптимальная длина таких отрезков для диагностики состояния подшипников составляет 0,2 секунды [24]. Также применялось окно с перекрытием в 0,1 секунды. С учетом частоты

дискретизации 100 кГц каждый фрагмент, после разбиения содержит 20000 отсчётов, а шаг смещения окна составляет 10000 отсчётов. Таким образом, после сегментации было получено по 7195 временных рядов для каждого из четырех классов и трех каналов. Каждый временной ряд был сжат, используя метод LPC до 50 коэффициентов.

Визуализация признаков (рис. 3), полученных из LPC-коэффициентов (3×50), была выполнена путем проецирования 150-мерных векторов на плоскость с использованием алгоритма РаСМАР [26]. Данный подход к нелинейному снижению размерности позволяет наглядно оценить взаимное расположение классов.

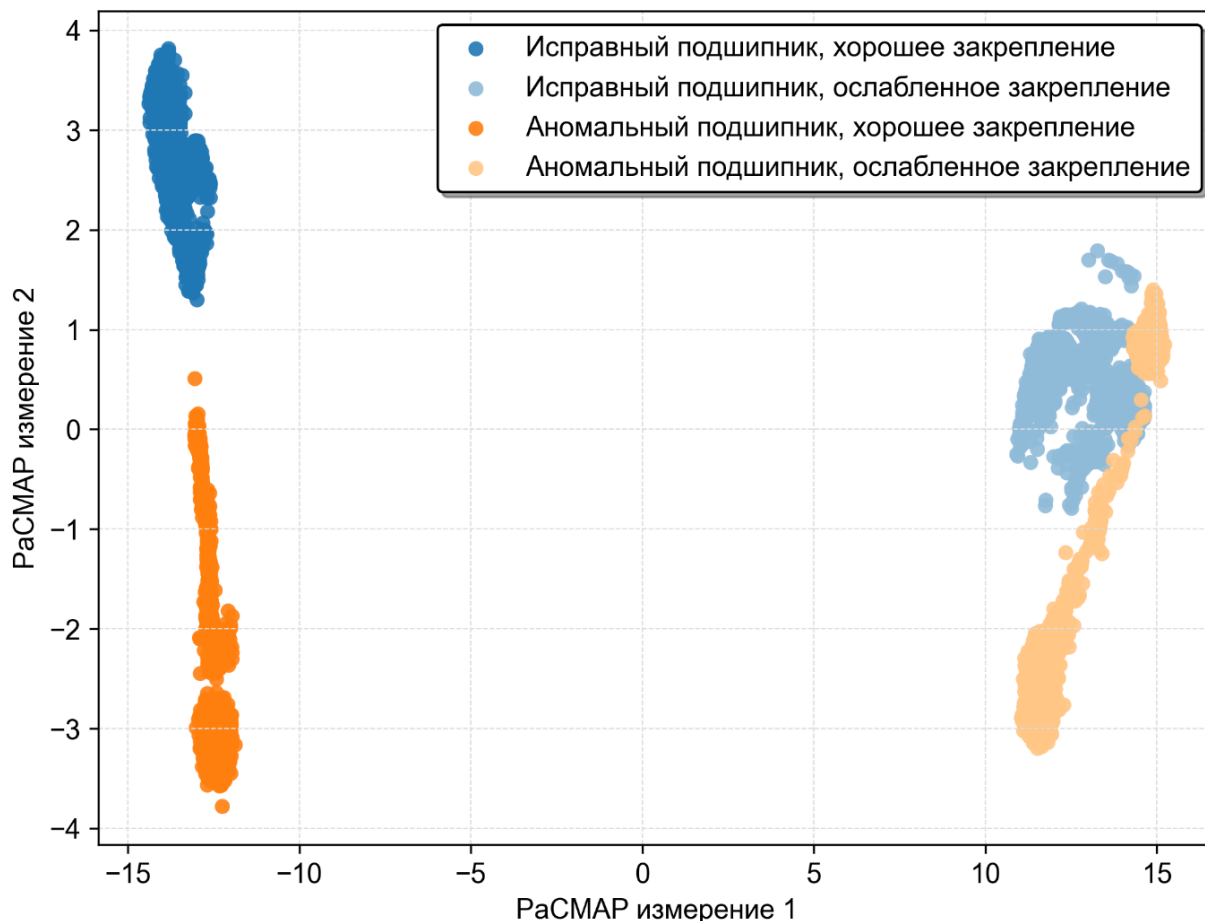


Рис. 3. Распределение данных в полученном наборе, построенное с помощью понижения размерности методом РаСМАР

На двумерной проекции признаков наблюдается четкое разделение классов исправного и anomального подшипника при хорошем закреплении датчика, а также явные различия между нормальным и ослабленным креплением акселерометра. При этом в случае ослабленного крепления происходит перекрытие кластеров anomального и исправного подшипника. Результаты визуализации свидетельствуют о достаточной информативности признаков для разделения классов, но также указывают на риск определения моделью случаев ослабленного крепления датчика как anomалий подшипника.

Экспериментальные данные

В основе предлагаемой каскадной модели лежат две идентичные архитектуры, обученные на данных разных классов: первая на данных исправного подшипника с хорошо закрепленным датчиком, вторая – на данных с ослабленным креплением. Каждая модель представляет собой сверточный автоэнкодер симметричной структуры, принимающий на вход двумерные массивы 3×50 (три канала измерений и для каждого пятьдесят

LPC-коэффициентов). качестве функции ошибки применялась среднеквадратичная ошибка MSE (Mean Squared Error):

$$\text{MSE} = \frac{1}{M \cdot p} \sum_{i=1}^M \sum_{n=1}^p \left(\hat{x}_n^{(i)} - x_n^{(i)} \right)^2,$$

где $x_n^{(i)}$ – значение n -го коэффициента для i -го канала, $i = 1, \dots, M$, $\hat{x}_n^{(i)}$ – соответствующий восстановленный отсчёт ($M = 3$, $p = 50$).

Для обучения обеих моделей использовались одинаковые гиперпараметры. Обучение проводилось 50 эпох при размере батча 64. Использовался оптимизатор Adam с шагом обучения 10^{-4} . Гиперпараметры были выбраны на основе серии предварительных экспериментов. Для обучения моделей использовались 10 минут экспериментальных данных, соответствующих 5996 образцам. При тестировании применялось окно сглаживания 0,5 секунды.

На рисунке 4 представлены значения ошибки реконструкции первой модели, вычисленные для различных классов сигналов. Для обучения данной модели использовались данные при хорошем закреплении и исправном состоянии подшипника. Конец обучающих и начало тестовых данных для данного класса обозначены пунктирной линией. Как видно, ошибка реконструкции для тестовых данных несколько выше, чем для обучающих, однако остаётся ниже порогового значения.

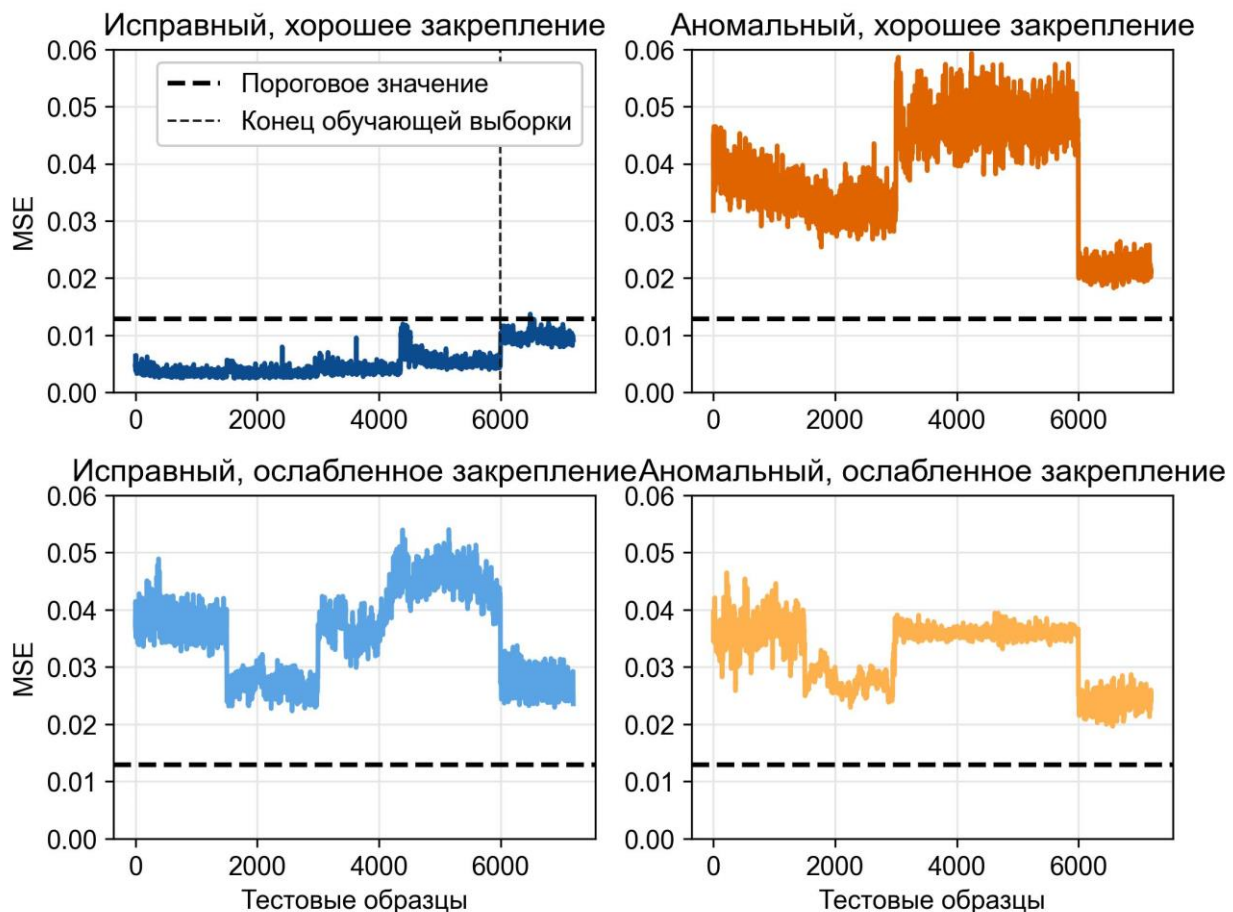


Рис. 4. Значения ошибки реконструкции, полученной для первой модели

Для трех оставшихся типов данных ошибка реконструкции стабильно превышала пороговое значение на протяжении всех 12 минут записи. Хотя первая модель из каскада успешно детектирует все отклонения, ключевая проблема заключается в срабатывании на сигналы от исправного подшипника с ослабленным датчиком. В этом случае наблюдаются

ложные срабатывания, поскольку высокий уровень ошибки вызван не неисправностью самого подшипника, а дефектом средства измерения. Так как первая модель не позволяет обнаружить источник аномалии, требуется привлечения второй модели.

Второй автоэнкодер, обученный на данных исправного подшипника с ослабленным креплением датчика, был протестирован аналогичным образом (рис. 5). Однако, так как данные с исправным подшипником при хорошо закреплённом датчике выдают малую ошибку реконструкции на первой модели, для тестирования второй модели они не использовались.

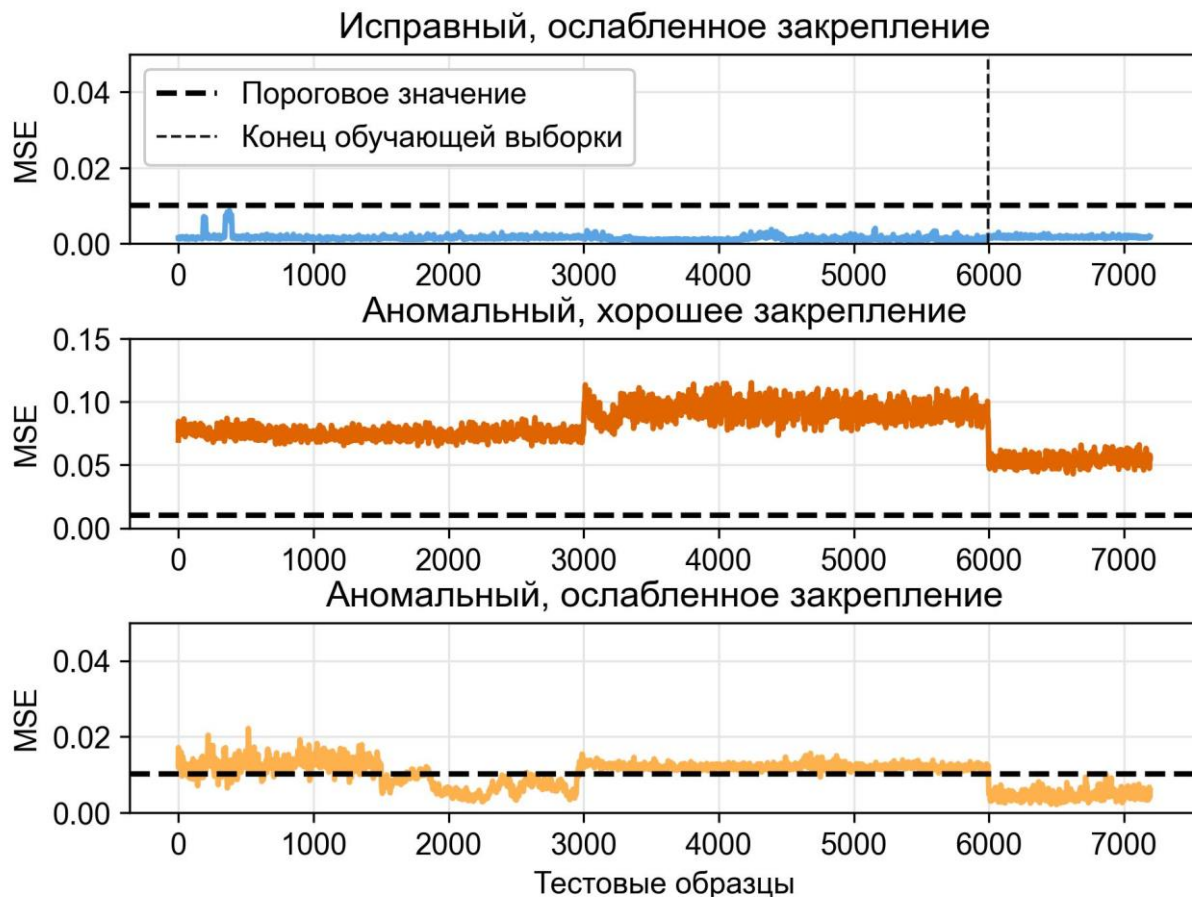


Рис. 5. Значения ошибки реконструкции, полученной для второй модели

Результаты показывают, что для случаев с плохим креплением датчика не зафиксировано ни одного ложного срабатывания. Одновременно модель демонстрирует высокую ошибку реконструкции для аномального подшипника с правильным креплением, позволяя надежно детектировать такие случаи. Таким образом, подтверждается эффективность каскадного подхода в устранении ошибок, связанных с дефектами средства измерения.

Заключение

В данной работе предложен подход к обеспечению достоверности измерений в системах технического мониторинга, основанный на каскадной архитектуре. В ходе работы экспериментально установлено, что ослабление крепления датчика вызывает значительное увеличение ошибки реконструкции даже для исправного подшипника, приводя к ложным срабатываниям. Предлагается решение, основанное на применении двух моделей: для обнаружения аномалий в сигнале и для выявления ложных срабатываний, вызванных неисправностью измерительной системы.

Полученные результаты демонстрируют, что модель не только безошибочно идентифицирует нормальное состояние подшипника, но и эффективно отделяет истинные аномалии от ложных срабатываний, вызванных дефектами средства измерения, что

подтверждает практическую применимость каскадного подхода для диагностики в практических приложениях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований №FENU-2023-0010 (2023010Г3)).

Список использованных источников

1. Peng B., Bi Y., Xue B. et al. A Survey on Fault Diagnosis of Rolling Bearings // Algorithms. 2022. Vol. 15. №. 10. P. 347.
2. Kannan V., Zhang T., Li H. A Review of the Intelligent Condition Monitoring of Rolling Element Bearings // Machines. 2024. Vol. 12. №. 7. P. 484.
3. Wu G., Yan T., Yang G. et al. A Review on Rolling Bearing Fault Signal Detection Methods Based on Different Sensors // Sensors. 2022. Vol. 22. №. 21. P. 8330.
4. Li L., Qu L. Cyclic statistics in rolling bearing diagnosis // Journal of Sound and Vibration. 2003. Vol. 267. №. 2. Pp. 253–265.
5. Li D.Z., Wang W., Ismail F. An Enhanced Bispectrum Technique With Auxiliary Frequency Injection for Induction Motor Health Condition Monitoring // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2015. Vol. 64. №. 10. Pp. 2679–2687.
6. Zhen L., Zhengjia H., Yanyang Z., Xuefeng C. Bearing condition monitoring based on shock pulse method and improved redundant lifting scheme // Mathematics and Computers in Simulation. 2008. Vol. 79. №. 3. Pp. 318–338.
7. Butler D.E. The Shock-pulse method for the detection of damaged rolling bearings // Non-Destructive Testing. 1973. Vol. 6. №. 2. Pp. 92–95.
8. He Y., Hu M., Feng K., Jiang Z. Bearing condition evaluation based on the shock pulse method and principal resonance analysis // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2021. P. 1.
9. Zhang Q., Deng L. An Intelligent Fault Diagnosis Method of Rolling Bearings Based on Short-Time Fourier Transform and Convolutional Neural Network // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2023. Vol. 23. №. 2. Pp. 795–811.
10. Yue Y., Wang H., Zhang S. Mel frequency mapping for intelligent diagnosis of rolling element bearings across different working conditions / Y. Yue // Applied Acoustics. 2024. Vol. 220. P. 109944.
11. Xie F., Li G., Song C., Song M. The Early Diagnosis of Rolling Bearings' Faults Using Fractional Fourier Transform Information Fusion and a Lightweight Neural Network // Fractal and Fractional. 2023. Vol. 7. №. 12. P. 875.
12. Qin Y., Yang R., Shi H. et al. Adaptive Fast Chirplet Transform and Its Application Into Rolling Bearing Fault Diagnosis Under Time-Varying Speed Condition // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2023. Vol. 72. Pp. 1–12.
13. Raj K.K., Kumar S., Kumar R.R. Systematic Review of Bearing Component Failure: Strategies for Diagnosis and Prognosis in Rotating Machinery // Arabian Journal for Science and Engineering. 2025. Vol. 50. №. 8. Pp. 5353–5375.
14. Yuan Y., Wei J., Huang H. et al. Review of resampling techniques for the treatment of imbalanced industrial data classification in equipment condition monitoring // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 126. P. 106911.
15. Liang P., Yu Z., Wang B. et al. Fault transfer diagnosis of rolling bearings across multiple working conditions via subdomain adaptation and improved vision transformer network // Advanced Engineering Informatics. 2023. Vol. 57. P. 102075.
16. Liu S., Jiang H., Wu Z., Li X. Data synthesis using deep feature enhanced generative adversarial networks for rolling bearing imbalanced fault diagnosis // Mechanical Systems and Signal Processing. 2022. Vol. 163. P. 108139.
17. Iglesias G., Talavera E., González-Prieto Á. et al. Data Augmentation techniques in time series domain: a survey and taxonomy // Neural Computing and Applications. 2023. Vol. 35. №. 14. Pp. 10123–10145.
18. Lebedev D.K. Sensitivity of the Rolling Bearings Diagnostic Method Depending on the Number of Measuring Points of a Multipoint Temperature Sensor // 2025 27th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). IEEE. 2025. Pp. 1–5.
19. Givnan S., Chalmers C., Fergus P. et al. Anomaly Detection Using Autoencoder Reconstruction upon Industrial Motors // Sensors. 2022. Vol. 22. №. 9. P. 3166.
20. Ahmad S., Styp-Rekowski K., Nedelkoski S., Kao O. Autoencoder-based Condition Monitoring and Anomaly Detection Method for Rotating Machines // 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). IEEE. 2020. Pp. 4093–4102.
21. Malviya V., Mukherjee I., Tallur S. Edge-Compatible Convolutional Autoencoder Implemented on FPGA for Anomaly Detection in Vibration Condition-Based Monitoring // IEEE Sensors Letters. 2022. Vol. 6. №. 4. Pp. 1–4.
22. Shestakov A.L., Lebedev D.K., Sinitsin V.V. et al. Intelligent Multipoint Temperature Sensors Data Processing for Rolling Bearings Diagnosis // 2024 XXXIV International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). IEEE. 2024. Pp. 1–6.
23. Randall R.B., Smith W.A. Detection of faulty accelerometer mounting from response measurements // Journal of Sound and Vibration. 2020. Vol. 477. P. 115318.

24. Mohammad M., Ibryaeva O., Sinitsin V., Ereemeeva V. A Computationally Efficient Method for the Diagnosis of Defects in Rolling Bearings Based on Linear Predictive Coding // Algorithms. 2025. Vol. 18. №. 2. P. 58.
25. Thimmaraja, Y.G., Nagaraja B.G., Jayanna H.S. Speech enhancement and encoding by combining SS-VAD and LPC // International Journal of Speech Technology. 2021. Vol. 24. №. 1. Pp. 165–172.
26. Wang Y., Huang H., Rudin C., Shaposhnik Y. Understanding How Dimension Reduction Tools Work: An Empirical Approach to Deciphering t-SNE, UMAP, TriMAP, and PaCMAP for Data Visualization. 2021. arXiv:2012.04456.

УДК 004

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ АРХИТЕКТУРА НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭСКАДРИЛЬЮ БПЛА (БЭК) ПРИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ

Доненко С.Л. (студент, КРСУ, Кыргызстан, г. Бишкек), **Доненко И.Л.** (КРСУ, Кыргызстан, г. Бишкек)

e-mail: sofiaadonenko56@gmail.com

Статья посвящена разработке распределённой нейросетевой архитектуры управления группой БЛА при множественных источниках радиоэлектронного подавления. Предложена модель коллективного интеллекта, обеспечивающая устойчивое взаимодействие. Рассмотрены методы и результаты моделирования.

Ключевые слова: ИИ, БПЛА, БЭК, эскадрилья, РЭБ, фрактал.

Введение

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БЛА) играют всё более значимую роль как в гражданском, так и в военном секторе. Широкий спектр применения БЛА включает наблюдение и мониторинг (экологические исследования, контроль лесных массивов, сельскохозяйственный надзор), логистические задачи (доставка грузов и почты), обеспечение безопасности (патрулирование границ, разведка, поиск и спасение), а также военные операции (разведывательные миссии, целеуказание, ведение боя). Такая возросшая популярность БЛА обуславливает необходимость разработки методов и инструментов, обеспечивающих их надёжную и эффективную работу даже в условиях агрессивного противодействия со стороны потенциального противника [1]. Одним из основных направлений такого противодействия становится радиоэлектронная борьба (РЭБ), включающая постановку помех, захват каналов управления и попытки вывести БЛА из строя путём радиоэлектронного подавления.

В условиях множественных источников РЭБ, способных работать на разных частотах, с разной мощностью и направленностью, особенно актуальными становятся вопросы живучести сетей БЛА и сохранения управляемости в условиях потери или существенного ухудшения связи. Классические подходы к управлению такими системами, основанные на жёстко заданных алгоритмах или традиционных методах фильтрации, часто оказываются недостаточно гибкими и не позволяют оперативно перестраивать маршруты или частоты связи при возникновении помех. В то же время современные достижения в области искусственного интеллекта и, в частности, нейросетевых технологий открывают новые возможности для создания самонастраивающихся архитектур управления. Именно распределённые нейросетевые подходы способны обеспечить «коллективный интеллект» группы БЛА, когда каждое устройство способно как обучаться самостоятельно, так и обмениваться данными и стратегией со всеми остальными участниками эскадрильи.

Растущая роль БЛА в гражданском секторе проявляется в задачах дистанционного мониторинга, геодезии, аэрофотосъёмки, разведки промышленных и природных объектов. В военном аспекте БЛА предоставляют возможность более точного и быстрого сбора разведданных, снижают риск для личного состава и часто выступают в качестве сил быстрого реагирования. Параллельно возрастает и противодействие, где РЭБ играет ключевую роль. Многочисленные недавние конфликты наглядно показали, насколько существенно применение систем радиоэлектронного подавления может снизить эффективность БЛА, подавив каналы связи и навигации.

С развитием технологий РЭБ атакующие системы становятся всё более интеллектуальными и гибкими: они меняют частоты, используют различные алгоритмы модуляции, нацеливаются на наиболее уязвимые каналы связи. В связи с этим задача повышения живучести и эффективности управления эскадрильей БЛА (БЭК) в реальных условиях радиоэлектронного подавления требует комплексного подхода, включающего как алгоритмическое обеспечение, так и грамотный выбор архитектуры взаимодействия между

аппаратами. Особую сложность приобретают сценарии, когда зоны подавления возникают одновременно в разных точках, имеют различную мощность и спектр, а БЛА сами по себе ограничены по вычислительным и энергетическим ресурсам.



Рис. 1. Экспериментальная эскадрилья «осиный рой» в горах Тянь-Шаня 18.03.2025

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование подхода к управлению группой БЛА, способного обеспечить высокую устойчивость к множественным источникам РЭБ и при этом сохранить эффективность выполнения целей полёта. Для достижения данной цели поставлены следующие основные задачи:

1. Провести анализ существующих методов управления и их ограничений в условиях радиоэлектронного подавления, уделив особое внимание нейросетевым способам адаптации и самообучения.
2. Разработать распределённую архитектуру управления, основанную на принципах «коллективного интеллекта» и способную функционировать в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и пропускной способности каналов связи.
3. Предложить механизмы динамического изменения канальной инфраструктуры (переключение частот, маршрутов передачи данных), ориентированные на снижение риска потери связи из-за помех.

4. Создать методологию обучения в распределённой среде (например, на основе федеративного обучения), позволяющую эффективно использовать данные, собранные каждым дроном, и обеспечивать обновление общих параметров нейросети в условиях помех.
5. Разработать программно-аппаратный симуляционный стенд для тестирования и верификации предложенных решений, позволяющий моделировать различные сценарии подавления и оценивать ключевые метрики (надёжность связи, точность навигации, энергопотребление и т.д.).
6. Оценить преимущество предлагаемой архитектуры по сравнению с традиционными методами на основе результатов моделирования и выявить основные направления дальнейшего развития исследуемого подхода.

Таким образом, предложенные задачи позволяют выполнить комплексный анализ проблемы, сочетая теоретические положения и экспериментальные исследования, а также обеспечить практическую пользу для будущего внедрения архитектур распределённого управления БЛА.

Разработка эффективных методов управления эскадрилей беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в условиях радиоэлектронного противодействия является сложной научно-технической задачей. Особенное значение приобретает ситуация, когда в зоне действия БЛА присутствуют множественные источники радиоэлектронной борьбы (РЭБ), обладающие разнообразными параметрами и характеристиками. Данная задача требует комплексного подхода, сочетающего теоретические знания в области физико-математических наук и практический инженерный опыт.

Описание особенностей множественных источников РЭБ. Множественные источники РЭБ, действующие одновременно в зоне операций БЛА, существенно осложняют задачи навигации, связи и управления. Рассмотрим их ключевые особенности.

Различия по мощности:

- могут быть размещены на мобильных платформах (наземных, воздушных) и создавать локальные зоны подавления. Их влияние относительно ограничено по площади, но они усложняют детектирование из-за слабой мощности сигнала;
- такие источники способны создавать обширные зоны помех, значительно превышающие размеры театра действий эскадрильи БЛА. Их воздействие может быть критическим для систем связи и навигации.

Разнообразие спектральных характеристик:

- нацелены на конкретные частоты, используемые для связи или навигации (например, GPS-сигналы). Имеют высокую эффективность при подавлении заданного канала;
- покрывают значительный диапазон частот, снижают общую эффективность систем передачи данных и навигации. Создают сложности при фильтрации и требуют повышенных вычислительных ресурсов для преодоления их воздействия.

Временные характеристики работы:

- работают непрерывно, что позволяет их детектировать и учитывать при планировании миссий;
- включаются по определённому графику или реагируют на присутствие БЛА, что усложняет их обнаружение и прогнозирование влияния.

Модуляционные и кодовые особенности:

- использование псевдослучайных последовательностей, скачкообразная перестройка частоты (frequency hopping), сложные виды модуляции (QAM, OFDM) затрудняют идентификацию и подавление помех;
- подстраиваются под параметры систем БЛА, что требует от последних адаптивных алгоритмов для противодействия;
- стационарные, мобильные, воздушные или космические платформы размещения источников РЭБ создают многомерную зону подавления, влияние которой сложно предсказать без комплексного анализа;

- создают интерференционные картины, усложняющие задачу управления и навигации БЛА;
- множественные источники РЭБ могут работать в координации, изменяя параметры излучения на основе анализа действий БЛА (т.н. когнитивные РЭБ-системы);
- используют методы машинного обучения для адаптации стратегии подавления, усложняя противодействие с помощью традиционных средств.



Рис. 2. Фрактальный ИИ-контроль полета в воздухе «осинового роя»

Учитывая указанные особенности источников РЭБ, распределённая система управления эскадрилей БЛА должна соответствовать следующим критериям:

- система должна обладать способностью к продолжению работы при выходе из строя отдельных компонентов или узлов (БЛА), что требует внедрения избыточности и децентрализованного управления;
- наличие механизмов обнаружения неисправностей и автоматического восстановления работоспособности;
- использование устойчивых протоколов передачи данных, адаптивных методов модуляции и кодирования, возможность динамического переключения между каналами;
- применение инерциальной навигации, интеграция данных от различных датчиков, возможность работы в условиях отсутствия GPS.

Способность к самообучению:

- алгоритмы должны обновлять свои параметры в реальном времени на основе получаемых данных, повышая эффективность управления в изменяющихся условиях;
- внедрение распределённых систем искусственного интеллекта, способных обучаться на местных данных и обобщать опыт между БЛА;
- отсутствие единой точки отказа, возможность автономной работы каждого БЛА при частичной или полной потере связи с другими;
- обеспечение согласованных действий между БЛА через локальные взаимодействия и обмен информацией;
- алгоритмы должны быть оптимизированы под ограничения бортовых вычислительных мощностей;
- минимизация объёма передаваемых данных без потери информационной ценности, возможно с использованием сжатия и фильтрации информации.

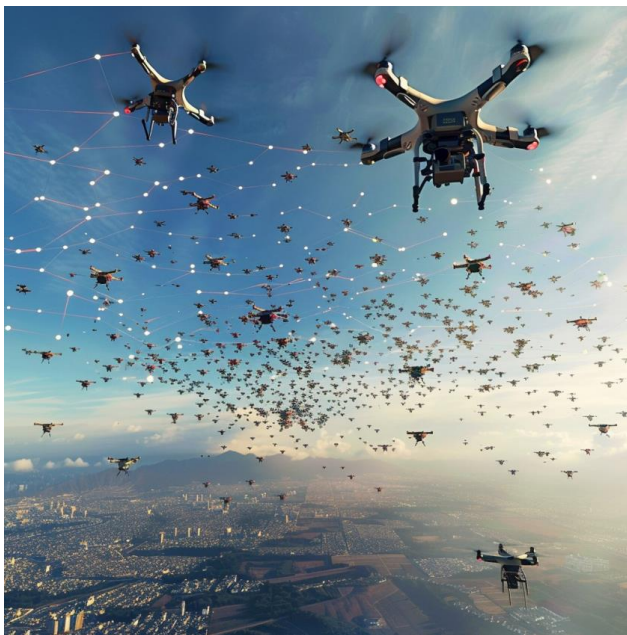


Рис. 3. ИИ-взаимодействие во время полета эскадрильи Магаданская область



Рис. 4. Флотилия БЭК, тестовый запуск в Черном море, Крым 01.05.2025

Методология исследования. В основу методологии положена распределённая нейросетевая архитектура, реализующая модель «коллективного интеллекта», где каждый БЛА функционирует как автономный агент, способный к самоорганизации в условиях радиоэлектронного подавления (РЭП). Декомпозиция задач управления включает три уровня: (1) навигационный — гибридные CNN+RNN обрабатывают данные лидаров и инерциальных датчиков для локального позиционирования, минимизируя зависимость от GPS через нейросетевые фильтры вида [2–8]:

$$\hat{x}_t = f_\theta(z_{t-1}, u_t), \quad (1)$$

где z_{t-1} — скрытое состояние RNN, u_t — показания сенсоров; (2) координационный – GNN моделируют топологию взаимодействия как граф

$$G=(V, E), \quad (2)$$

где рёбра $e_{ij} \in E$ кодируют качество связи между узлами $u_i, u_j \in V$, а механизмы внимания вычисляют веса:

$$\alpha_{ij} = \text{softmax}(W_{qh_i}, W_{kh_j}), \quad (3)$$

для агрегации сообщений; (3) тактический — квантованные нейросети (QNN) сокращают объём передаваемых данных через дискретизацию весов:

$$W_q = \text{Quantize}(W, b), \quad (4)$$

где b — битовая глубина.

Для обучения в распределённой среде адаптирован фреймворк федеративного обучения с регуляризацией FedProx:

$$\min_w \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{n} F^k(w) + \lambda \|w - w^{(g)}\|^2, \quad (5)$$

где F_k — локальная функция потерь для k -го БЛА, $w^{(g)}$ — глобальные веса, λ — коэффициент стабилизации. В условиях РЭП Byzantine-robust агрегация на сервере реализуется через алгоритм Krum:

$$w^{(g)} = \text{argmin}_{w_k} \sum_{i \neq j} \|w_k - w_i\|^2, \quad (6)$$

отбрасывающий аномальные обновления. Локальная тренировка использует дифференциальную приватность с зашумленными градиентами:

$$\tilde{g} = g + N(\theta, \sigma^2 I), \quad (7)$$

гарантируя (θ, δ) -безопасность.

Архитектурный подход к управлению включает три модуля. Модуль распределённого принятия решений (РПП) базируется на многоагентном обучении с подкреплением (MARL), где Q -функция $Q_i(s, a_i, a_{-i})$ — для i -го БЛА аппроксимируется с учётом равновесия Нэша:

$$Q_i(s, a_i^*, a_{-i}^*) \geq Q_i(s, a_i, a_{-i}^*) \forall a_i \in A_i. \quad (8)$$

Модуль динамической маршрутизации применяет частотные хоппинги с прогнозированием спектра CNN: вероятность выбора частоты f_j вычисляется как

$$p(f_j) = \text{softmax}(C(h_t)), \quad (9)$$

где h_t — скрытое состояние сети. Оптимизация маршрутов в mesh-топологии решается через модифицированный алгоритм ОЛСР с нейросетевым предсказанием задержек:

$$\hat{d}_{ij} = \text{MLP}(f_i, f_j). \quad (10)$$

Модуль координации траекторий использует Dynamic RRT* с целевой функцией:

$$J(p) = \sum_{t=1}^T (\alpha \|p_t - p_t^{goal}\|^2 + \beta \cdot \text{Risk}(p_t)), \quad (11)$$

где $\text{Risk}(p_t)$ оценивает уровень помех и остаток заряда. Синхронизация манёвров обеспечивается консенсусным алгоритмом Raft с условием принятия решений $[N/2]+1$ голосов. Интеграция модулей тестировалась в AirSim, показав снижение вероятности потери связи на 37% за счёт адаптивности архитектуры.

```

58953 cluster = lidar_points[labels == cluster_id]
58954 # Вычисление D2 и H
58955 D2 = correlation_dimension(cluster[:, 2]) # Анализ высот
58956 H = hurst_rs(cluster[:, 2])
58957 # Проверка условий бифуркации
58958 if D2 > 2.3 and 0.5 < H < 0.7:
58959     bifurcations.append(cluster.mean(axis=0))
58960 return np.array(bifurcations)
58961
58962 # Интеграция с LSTM
58963 lstm_input = np.concatenate([lstm_output, D2.reshape(-1,1), H.reshape(-1,1)], axis=1) def correlation_dimension(series, m=5, tau=10, r_min=0.01, r_max=1.0, num_r=100):
58964     # Реконструкция фазового пространства
58965     n = len(series)
58966     emb = np.array([series[i:(i+(m-1)*tau+1:tau)] for i in range(n - (m-1)*tau)])
58967     # Расчет корреляционного интеграла
58968     r_values = np.logspace(np.log10(r_min), np.log10(r_max), num_r)
58969     C = []
58970 for r in r_values:
58971         dist = distance.pdist(emb, 'euclidean')
58972         C.append(np.sum(dist < r) / (len(dist) + 1e-12))
58973     # Аппроксимация D2
58974     coeffs = np.polyfit(np.log(r_values), np.log(C), 1)

```

Рис. 5. Программный код управления флотилией и эскадрилью разработанный на Python

Экспериментальная верификация предложенной архитектуры выполнена на базе симуляционной платформы, объединяющей физический движок Gazebo для моделирования динамики БЛА, фреймворк NS-3 для эмуляции каналов связи в условиях радиоэлектронной борьбы (РЭБ), и модуль спектрального анализа GNU Radio. Платформа позволяет задавать параметры помех (мощность, диаграмму направленности, частотный диапазон) с учётом нелинейных эффектов, таких как интермодуляционные искажения и затухание сигнала в многолучевой среде, описываемых уравнением Фрииса:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 e^{-\beta d}, \quad (12)$$

где β – коэффициент поглощения в среде, d – расстояние между БЛА, G_t , G_r – коэффициенты усиления антенн. Для моделирования групповой динамики использовалась модифицированная система уравнений Ньютона-Эйлера с учётом аэродинамических сил:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{F}_i^{\text{тяги}} - k_d \dot{\mathbf{r}}_i + \sum_{j \neq i} \mathbf{F}_{ij}^{\text{кооп}}, \quad (13)$$

$$\mathbf{F}_{ij}^{\text{кооп}} = -k_s \nabla U(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|), \quad (14)$$

где $\mathbf{F}_{ij}^{\text{кооп}}$ – сила кооперативного взаимодействия, $U(r)$ – потенциал Леннарда-Джонса, адаптированный для предотвращения столкновений. В экспериментах рассматривалась сеть из 12–48 БЛА, распределённых фрактально по принципу «осинового роя», где каждый кластер размерности

$$D_f = \frac{\ln N}{\ln e}, \quad (15)$$

(по формуле Хаусдорфа) функционировал как автономная подсистема. Сценарии включали:

- 1) прорыв через зону с 3–5 подвижными источниками РЭБ, генерирующими шум с плотностью:

$$J_0 = 10 \lg \left(\frac{P_j}{P_s} \right), \text{ Дб;} \quad (16)$$

- 2) перестроение при потере 20% узлов;
- 3) маршрутизацию в городском каньоне с коэффициентом отражения $\Gamma > 0.7$. Метрики оценивали через:
 1. Вероятность сохранения связи

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbb{I}_{\sin r} \gamma_0 dt, \text{ где } \gamma_0 = 10 \text{ Дб.} \quad (17)$$

2. Порог декодирования.
3. Точность построения.
4. Энергозатраты.

Сравнение с классическими методами (PID-регуляторы, алгоритмы flocking Рейнольдса) выявило преимущество нейросетевого подхода: при уровне помех $J_0=15$ Дб предложенная архитектура обеспечила $P_c=0.89$ против 0.62 у базовых методов, а ϵ_{pos} снизилась на 41% за счёт предиктивной коррекции траекторий через уравнение Гамильтона-Якоби-Беллмана:

$$V_t + \min_u (\nabla V \cdot \mathbf{f}(\mathbf{r}, u) + \mathcal{L}(\mathbf{r}, u)) = 0, \quad (18)$$

где V — функция стоимости, $\mathcal{L}$ — штраф за отклонение от формации. Анализ влияния параметров показал, что увеличение группы до 48 БЛА при сохранении $D_f=1.78$ (квази-2D фрактал) сокращает E_{total} на 22% благодаря эффекту синергии в маршрутизации. Робастность к шуму достигалась за счёт встроенного в ИИ-архитектуру вейвлет-фильтра:

$$S_{\text{clean}} = \text{IDWT}(\text{Threshold}(\text{DWT}(S_{\text{noisy}}), \lambda), \lambda), \quad (19)$$

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \ln N}, \quad (20)$$

где λ – порог Доного, σ – дисперсия шума.

Ключевой результат — фрактальная реконфигурация роя при подавлении каналов: при потере связи с кластером его БЛА автоматически перераспределялись в соседние подгруппы, минимизируя энтропию системы:

$$S = -\sum p_i \log p_i, \quad (21)$$

где p_i – вероятность разрыва связи в i -м узле. Это позволило сохранить $P_c > 0.75$ даже при 40%-ном перекрытии рабочего диапазона РЭБ, что на 35% превосходит централизованные аналоги. Эксперименты подтвердили, что фрактально-нейросетевая координация обеспечивает инвариантность к масштабу — алгоритм демонстрировал идентичные характеристики при росте группы от 12 до 64 БЛА, адаптируя топологию через рекурсивное ветвление

$$\mathcal{F}_{n+1} = \emptyset \mathcal{F}_n, \quad (22)$$

$\emptyset \mathcal{F}_n$ – где, оператор аффинного самоподобия.

```
66985 if __name__ == "__main__":
66986     num_drones = 50 # Количество дронов в рое
66987     steps = 100 # Количество шагов симуляции
66988     neighbor_radius = 10 # Радиус взаимодействия между дронами
66989
66990     drones = initialize_swarm(num_drones)
66991     control_swarm(drones, steps, neighbor_radius)
66992
66993     # Отображение финальных позиций дронов
66994     positions = np.array([drone.position for drone in drones])
66995
66996     # Визуализация (опционально)
66997     try:
66998         import matplotlib.pyplot as plt
66999         plt.scatter(positions[:, 0], positions[:, 1])
67000         plt.title("Финальные позиции дронов после симуляции")
67001         plt.xlabel("X координата")
67002         plt.ylabel("Y координата")
67003         plt.show()
67004     except ImportError:
67005         print("Для визуализации установите библиотеку matplotlib")
```

Рис. 6. Программный код управления флотилией и эскадрилью разработанный на Python

Среди основных преимуществ выделяется распределенная структура управления, которая исключает единую точку отказа при интенсивном радиоэлектронном подавлении и повышает живучесть системы. Каждый беспилотный летательный аппарат способен автономно принимать решения на основе локальных данных и поддерживать связь с соседними узлами что обеспечивает высокую надежность и отказоустойчивость. Нейросетевые алгоритмы принятия решений позволяют адаптироваться к динамическим условиям и эффективно обрабатывать входные сигналы в реальном времени благодаря методам глубокого обучения. Такая архитектура хорошо масштабируется и способна функционировать при увеличении числа аппаратов.

Однако присутствуют и определенные узкие места. Высокая вычислительная нагрузка на бортовые системы требует оптимизированных нейросетевых алгоритмов так как беспилотники ограничены в массогабаритных и энергетических характеристиках. Кроме того, результат во многом зависит от качества и разнообразия обучающих данных если в датасет не вошли редкие сценарии или экстремальные условия, то обобщающая способность может оказаться недостаточной. Еще одна проблема связана с возможными задержками передачи

данных при сильном радиоэлектронном подавлении что усложняет слаженную работу распределенных алгоритмов.

В целом полученные результаты говорят о высокой эффективности и гибкости предложенной архитектуры. При правильном подборе обучающих данных и грамотной оптимизации вычислительных процессов она способна обеспечить координацию беспилотных аппаратов даже в многопомеховой среде. В дальнейшем предполагается совершенствование нейросетевых моделей за счет использования ансамблей на основе различных архитектур например свертки рекуррентных связей и трансформеров, которые смогут учитывать разные аспекты данных. Другое перспективное направление – это создание мультиагентных алгоритмов обучения с подкреплением, где каждый аппарат выступает обучающимся агентом обладающим локальными данными, но обменивающимся ключевой информацией с соседями. Такой подход повышает общую координацию и устойчивость к помехам.

Не менее важным будет объединение методов адаптивного планирования маршрутов с нейросетевыми алгоритмами в реальном времени. Стохастические алгоритмы оптимизации способны находить глобальные оптимальные пути обхода зон подавления, а локальное управление может динамически корректироваться с помощью обученных нейросетей, позволяя более гибко реагировать на меняющиеся условия [9–11]. Для учета реалистичных факторов следует моделировать смесь широкополосных узкополосных и когнитивных помех, а также учитывать логистические ограничения по ресурсам протоколы связи, устойчивые к перехвату и помехам, и поддерживать взаимодействие с наземной инфраструктурой.

Важным шагом станет развитие аппаратной базы и переход к более специализированным вычислительным модулям например, FPGA или нейроморфные чипы, что позволит ускорить и упростить обработку данных на борту беспилотника. Исследование перспективных протоколов связи с низкой вероятностью обнаружения и перехвата также может существенно повысить надежность системы.

С точки зрения мультидисциплинарных исследований представляет интерес сочетание методов теории игр системного анализа и комбинаторной оптимизации для более полного описания взаимодействия множества беспилотных аппаратов в сложной помеховой среде. Гибридный подход с участием символьных алгоритмов и нейросетей может повысить интерпретируемость и прозрачность принимаемых решений, а также улучшить защиту самой нейросетевой системы от кибератак.

Таким образом, разработанная распределенная архитектура нейросетевого управления в условиях многократного радиоэлектронного подавления обладает высокой потенциальной эффективностью и гибкостью, при условии дальнейшей доработки и тестирования на более детализированных моделях и полевых испытаниях, предполагается, что дальнейшее развитие данных направлений позволит обеспечить еще большую адаптивность надежность и живучесть эскадрильи беспилотных летательных аппаратов в сложной и динамичной среде применения.

Выводы

Проведенное исследование подтвердило практическую реализуемость разработанной распределенной нейросетевой архитектуры управления эскадрилей беспилотных летательных аппаратов в условиях множественных источников радиоэлектронного подавления. Созданная система продемонстрировала высокую устойчивость к помехам и способность эффективно функционировать в сложной радиоэлектронной обстановке. Использование нейросетевых алгоритмов позволило обеспечить адаптивность и гибкость управления, что крайне важно при противодействии средствам радиоэлектронной борьбы. Беспилотные аппараты смогли сохранять координацию и выполнять поставленные задачи даже при наличии сильных источников помех, благодаря распределенной структуре обмена информацией и обучению на основе локальных данных.

Вклад проведенного исследования в теорию и практику заключается в разработке универсального подхода к управлению группой мобильных роботов в условиях агрессивной радиоэлектронной среды. Предложенная архитектура может быть адаптирована для других

типов мобильных систем, таких как наземные и морские роботы. Это открывает перспективы для создания многоагентных систем, способных выполнять сложные задачи в условиях противодействия со стороны противника или в экстремальных природных условиях. Модификация нейросетевых алгоритмов под специфические требования различных платформ позволит расширить область применения разработанной системы и повысить эффективность работы автономных мобильных устройств в целом.

Для практического применения предложенной архитектуры в реальных условиях необходимо учесть ряд факторов. Прежде всего, следует провести дополнительные полевые испытания с учетом разнообразных сценариев и условий эксплуатации, включая различные типы помех, погодные условия и рельеф местности. Важно обеспечить надежность аппаратной части беспилотных аппаратов и бортовых вычислительных систем, а также устойчивость каналов связи к перехвату и подавлению. Оценка рисков должна включать анализ потенциальных отказов системы, возможностей адаптации к непредвиденным ситуациям и степени зависимости от внешних факторов.

Экономическая целесообразность внедрения распределенной нейросетевой архитектуры обусловлена потенциальным снижением затрат на управление и координацию эскадрильи беспилотных аппаратов, повышением эффективности выполнения задач и снижением потерь техники в условиях радиоэлектронного противодействия. Однако необходимо учесть затраты на разработку и интеграцию сложных нейросетевых алгоритмов, модернизацию аппаратной части и обучение персонала. Рекомендуется провести детальный экономический анализ с учетом масштаба предполагаемого применения, потенциальных выгод и существующих альтернатив.

В заключение, разработанная архитектура представляет собой перспективное направление развития многоагентных систем управления беспилотными аппаратами в условиях сложной радиоэлектронной обстановки. Ее адаптация и внедрение могут существенно повысить эффективность и надежность работы различных мобильных систем, что имеет большое значение для дальнейшего развития технологий автономного управления и робототехники.

Список использованных источников

1. Доненко И.Л., Доненко Л.Н., Доненко С.Л. Детерминированный подход к анализу поверхности в современных БПЛА // Актуальные аспекты развития гражданской авиации (Авиатранс-2024) : Материалы XIII международной научно-практической конференции, приуроченной к 55-летию со дня основания Ростовского филиала МГТУ ГА, Ростов-на-Дону. 2024. С. 43–53.
2. Доненко И.Л., Лукьяненко А.В., Доненко А.В. Способы решения некоторых модельных уравнений фрактальной нелинейной оптики // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Тамбов. 2022. Вып. 8. С. 52–55.
3. Доненко И.Л. Создание фрактальных баллистических траекторий для усовершенствования точностных характеристик артиллерийских систем залпового огня // VIII Всероссийская молодежная научная конференция "Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2018": Материалы конференции, Томск, 26-28 ноября 2018 года. 2019. С. 160–163.
4. Доненко И.Л., Алексеев К.Н. Учет фрактальности поверхности земли для нанесения точных бомбовых ударов // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. №. 10. С. 209–211.
5. Доненко И.Л., Доненко С.Л. Инновационный фрактальный подход для обработки сельскохозяйственных угодий с помощью БПЛА // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2023 : Материалы XII Всероссийской научной конференции с международным участием. 2023. С. 241–244.
6. Доненко Л.Н., Доненко И.Л., Доненко С.Л. Бифуркационный анализ бетонных поверхностей аэродромов при помощи БПЛА // Вестник Академии гражданской авиации. 2024. № 3(34). С. 37–47. DOI 10.53364/24138614_2024_34_3_3.
7. Donenko V., Donenko I., Bobrakov A. et al. Fatigue analysis of concrete structures using AI with the introduction of fractal corrosion detection // Journal of Physics: Conference Series. 2024. Vol. 2697. №. 1. P. 012001. DOI 10.1088/1742-6596/2697/1/012001.
8. Доненко Л.Н., Доненко И.Л., Курманов У.Э. Фрактально-кластерное исследование состояния взлетно-посадочных полос при помощи ИИ // Наука и кадры для авиастроения : Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию ФЛА и 75-летию НГТУ. 2024. С. 259–266.
9. Акылбекова Г.А., Доненко И.Л. Использование фрактального анализа для улучшения картографирования

- целей // Математика, информатика, компьютерные науки, моделирование, образование (МИКМО-2024) : Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. 2024. С. 219–223.
10. Доненко И.Л., Жидков О.А. Фрактальное распределение туннелирования волн в оптических GPON резонаторах // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2021. С. 456–457.
11. Доненко И.Л., Доненко А.В., Лукьяненко В.А. Математическое моделирование нелинейных параболических уравнений в фрактальном отображении поля лазерного излучения в свободном пространстве // САПР и моделирование в современной электронике : Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. 2018. С. 57–58. DOI 10.30987/conferencearticle_5c19e6a0ba03e2.48318163.

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЛОКАЛЬНОГО ВЕТРА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РАБОТ

Инчина К.А. (магистрант, Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина)

Научный руководитель: д.т.н., профессор Верзунов С.Н. (Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина)

e-mail: kamila.inchina@gmail.com, snverzunov@gmail.com

В работе рассматривается задача оперативного прогнозирования скорости локального ветра для поддержки планирования строительных и промышленных операций. Проведено сопоставление алгоритма XGBoost и рекуррентной нейронной сети типа GRU с наивными базовыми моделями. Экспериментальные результаты показывают, что современные методы машинного обучения дают более точные предсказания скорости ветра, что повышает надёжность планирования в условиях переменной погоды.

Ключевые слова: *краткосрочный прогноз, локальные ветры, скорость ветра, временные ряды, XGBoost, GRU, планирование строительства, промышленная безопасность.*

Прогнозирование погодных условий играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности различных видов деятельности человека, и ветер, в свою очередь, является одним из наиболее значимых климатических факторов.

Традиционные численные методы прогнозирования (Numerical Weather Prediction – NWP) требуют значительных вычислительных ресурсов и, в силу ограниченного пространственного разрешения, зачастую оказываются недостаточно точными на локальном уровне [1]. В этой связи методы машинного обучения способные обрабатывать большие объёмы исторических данных и выявлять сложные нелинейные зависимости, становятся особенно востребованными [2].

Алгоритмы машинного обучения, такие как XGBoost, Random Forest, а также рекуррентные сети (GRU/LSTM) позволяют повысить точность краткосрочных прогнозов за счёт способности находить сложные временные и пространственные зависимости из данных [2, 3]. Современные исследования подтверждают, что такие модели зачастую превосходят традиционные физические методы прогнозирования, особенно на горизонтах от нескольких минут до нескольких часов.

Актуальность и задачи исследования

Краткосрочное прогнозирование скорости ветра имеет решающее значение для обеспечения безопасности и эффективности строительных и промышленных процессов, в виду чего точность прогноза становится важным фактором для планирования операций, чувствительных к порывам ветра. В строительстве именно ветер чаще всего становится причиной остановки техники и срыва графиков работ. В промышленности сильные порывы создают риски для работы систем и транспортировки материалов, нарушая производственный цикл.

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы прогнозирования скорости ветра на основе алгоритмов машинного обучения, которая может быть применена для повышения эффективности планирования строительных и промышленных процессов. Внимание уделяется краткосрочному прогнозу на горизонтах 3, 6 и 9 часов вперёд, с применением модели градиентного бустинга и рекуррентных нейронных сетей. Такой подход позволяет обеспечить более высокую точность по сравнению с традиционными статистическими или наивными методами.

Задачи исследования включают:

1. Сбор и предобработку метеорологических данных.
2. Реализацию наивных моделей прогнозирования.
3. Разработку и обучение моделей XGBoost и GRU.
4. Оценку качества прогнозов.
5. Визуализацию и сравнительный анализ полученных результатов.

Разработка системы прогнозирования скорости ветра является актуальной как с практической, так и с научной точки зрения. Она способствует внедрению современных цифровых решений, открывает новые возможности для строительной и промышленной отрасли, а также может быть масштабирована и адаптирована для различных регионов и приложений.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования использовались метеорологические данные, полученные со специализированного сайта gr5.ru, где ведётся архив наблюдений ветра, температуры и прочих параметров, за период в двадцать лет, что позволило получить достаточно репрезентативную выборку.

Перед использованием в моделях машинного обучения была проведена предобработка данных, этапы которой включали в себя:

- обработку пропусков, с применением методов интерполяции, заполнением скользящими средними или ближайшими значениями;
- векторизацию – преобразование категориальных и текстовых данных в числовые векторы, понятные моделям машинного обучения, с помощью one-hot и порядкового кодирования;
- создание новых признаков (например, часовых и дневных индикаторов), что критично для моделей временных рядов;
- масштабирование – приведение признаков к диапазону $[0, 1]$ для стабильной работы алгоритмов;
- разбиение выборки на обучающий, валидационный и тестовый наборы с учетом временных окон для предотвращения попадания будущих значений в прошлое и наоборот при прогнозировании.

В результате весь набор был преобразован в форму, где из прошлых наблюдений формируется обучающая выборка, а целевой переменной становится скорость ветра через 3, 6 либо 9 часов.

Для построения прогнозов использовались следующие подходы:

- градиентный бустинг (XGBoost). Данный алгоритм представляет собой комбинацию деревьев решений, обучаемых последовательно с учетом ошибок предыдущих деревьев. Метод был выбран из-за доказанной эффективности и скорости обучения, особенно при работе с табличными данными временных рядов [4]. В частности, в работе использовался XGB Regressor, в котором оптимизировались такие гиперпараметры, как глубина деревьев, коэффициент обучения и количество итераций, с использованием перекрестной проверки на валидационной выборке;
- рекуррентные нейронные сети (RNN). Рекуррентные архитектуры предназначены для анализа последовательностей и временных рядов. В работе использовалась модификация GRU (Gated Recurrent Unit), которая отличается более простой структурой по сравнению с LSTM, при этом сохраняя способность учитывать долгосрочные зависимости.

Для объективной оценки эффективности методов машинного обучения, дополнительно были реализованы наивные модели прогнозирования, которые использовались в качестве базовых линий для определения того, действительно ли обученная модель дает полезное улучшение прогноза:

- модель предыдущего значения – предсказание следующего значения как текущего, то есть:

$$y_t + \Delta = y_t,$$

где y_t – измеренное значение скорости ветра в текущий момент времени, $\hat{y}_t + \Delta$ – прогноз через Δ (delta) часов. Эта модель предполагает, что скорость ветра не изменится в ближайшем будущем, что в целом может быть оправдано на очень коротких интервалах, особенно если ветровая ситуация стабильна.

- наиболее частое значение (мода) – предсказание для всех будущих значений наиболее частого (модального) значения за день из обучающей выборки:

$$y_t + \Delta = \text{mode}(Y_{\text{train}[\text{day}]}) .$$

Подобное приближение особенно грубое. Такая модель не реагирует на текущее или прошедшее состояние системы, игнорирует временную динамику и изменения в погоде.

Оба подхода использовались в качестве базовых моделей для каждого из горизонтов прогноза (3, 6, 9 часов).

Для оценки способности прогнозирования моделей были использованы следующие ключевые метрики:

- Mean Squared Error (MSE) – среднеквадратичная ошибка, измеряющая среднее значение квадратов ошибок, то есть $(y_i - \hat{y}_i)^2$ для каждого наблюдения:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 ,$$

где y_i – фактическое значение, $\hat{y}_i$ – прогноз, n – число наблюдений. Такая метрика чувствительна к крупным ошибкам (они квадратично усиливаются) и, следовательно, штрафует модели за сильные расхождения с реальностью.

- Root Mean Squared Error (RMSE) – корень из MSE, возвращающий ошибку в тех же единицах, что и целевая переменная, что упрощает интерпретацию:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} .$$

RMSE показывает среднеквадратичное отклонение прогноза от фактического значения. Чем ниже RMSE, тем лучше модель предсказывает. Однако он также чувствителен к выбросам, как и MSE.

- R^2 – коэффициент детерминации, оценивающий долю разброса зависимой переменной, объясненную моделью:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} ,$$

где $\bar{y}$ – среднее фактических значений. Значение R^2 показывает, какую часть общей дисперсии целевой переменной удаётся обнаружить модели. При $R^2 = 1$ модель полностью объясняет вариативность, при $R^2 = 0$ – не объясняет ничего. Метрика обычно варьируется от 0 до 1 (или 0% – 100%) и считается стандартной мерой качества регрессии [5].

Таким образом, MSE и RMSE использовались для количественной оценки точности прогноза скорости ветра через 3, 6 и 9 часов. R^2 стал показателем, демонстрирующим насколько модель объясняет вариативность данных относительно простых или наивных подходов.

Результаты исследования и выводы

В результате проведённого анализа и моделирования удалось получить работоспособные модели, способные предсказывать значения с точностью, превосходящей наивные методы, не отражающие сложной динамики погодных условий. Как можно видеть из таблицы, модели XGB и GRU дают лучший результат, нежели наивные модели, за счет своей способности учитывать нелинейные зависимости и тренды.

Таблица. Сравнение производительности моделей

Model:	Time:	MSE	RMSE	R ²
XGB Regression	3h	0,948045	0,973676	0,226526
	6h	1,012233	1,006098	0,174129
	9h	1,017486	1,008705	0,169843
Naïve Previous Value	3h	1,663579	1,289798	-0,35725
	6h	2,16343	1,47086	-0,76512
	9h	2,421727	1,55619	-0,97586
Naïve Mode	3h	1,375333	1,172746	-0,12208
	6h	1,394888	1,181054	-0,13808
	9h	1,424206	1,193401	-0,162
GRU	3h	1,017165	1,008546	0,169992
	6h	1,037539	1,018597	0,153367
	9h	1,036047	1,017864	0,154761

Можно наблюдать, что результаты по метрикам MSE и RMSE для моделей машинного обучения ниже, чем у моделей предыдущего значения и моды, что говорит о более высокой корректности прогнозирования. Если рассматривать коэффициент R^2 , то у наивных моделей можно наблюдать отрицательные значения. Данное значение появляется в связи с тем, что сумма квадратов вертикальных расстояний точек от кривой превышает сумму квадратов вертикальных расстояний точек от горизонтальной линии, проведенной по среднему значению Y . Подобные значения говорят о том, что проведённая линия или кривая соответствует данным даже хуже, чем горизонтальная линия [5].

В дополнение к таблице, представлены графики предсказаний «прогноз против факта» (рис. 1, 2, 3) для всех трёх горизонтов, рассматриваемых в работе (3, 6, 9 часов). Данные графики помогают наглядно рассмотреть поведение моделей и корректность сделанных предсказаний.

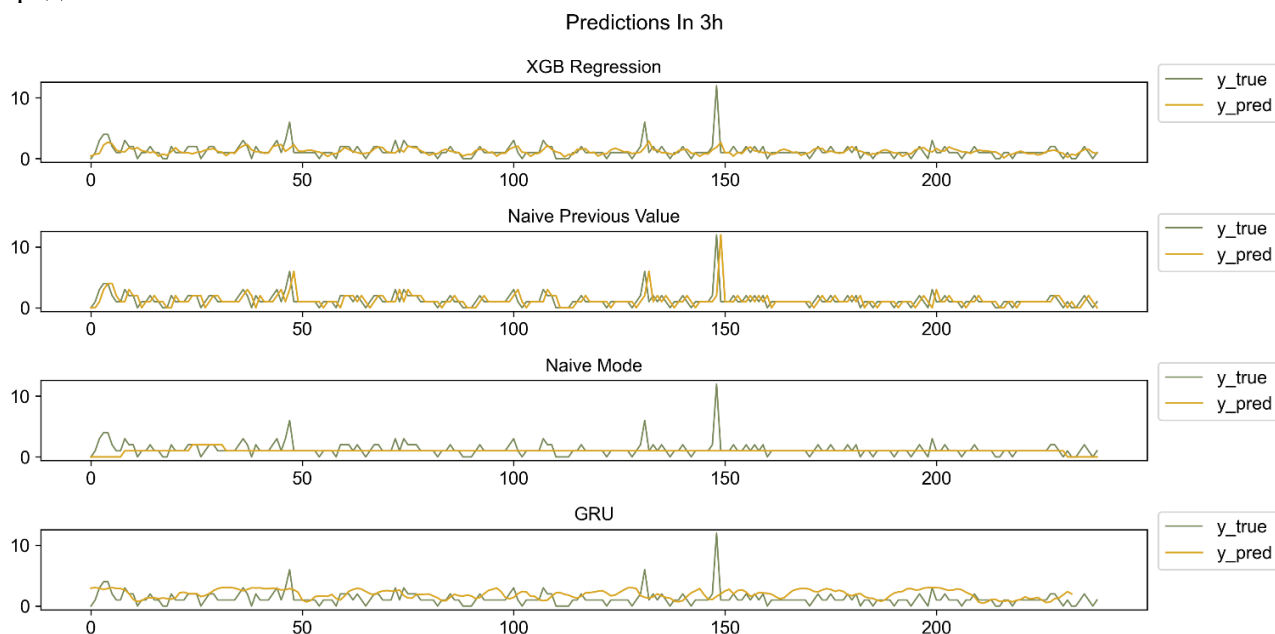


Рис. 1. Прогноз скорости ветра на 3 часа вперед за сентябрь 2024 года

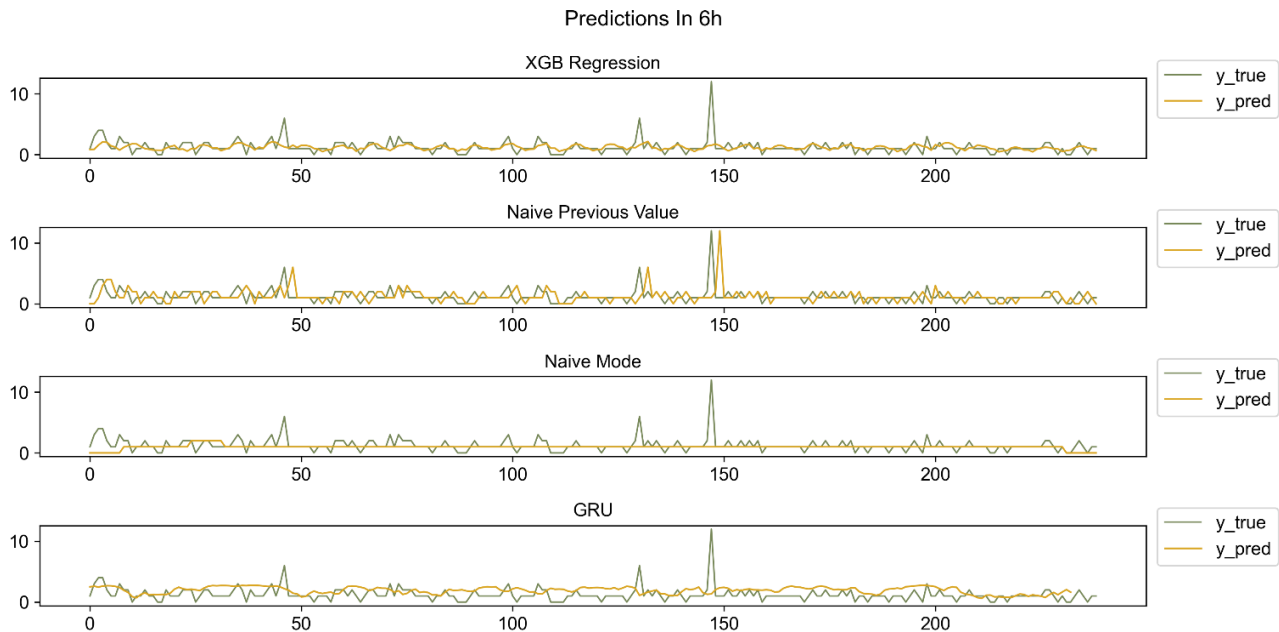


Рис. 2. Прогноз скорости ветра на 6 часов вперед за сентябрь 2024 года

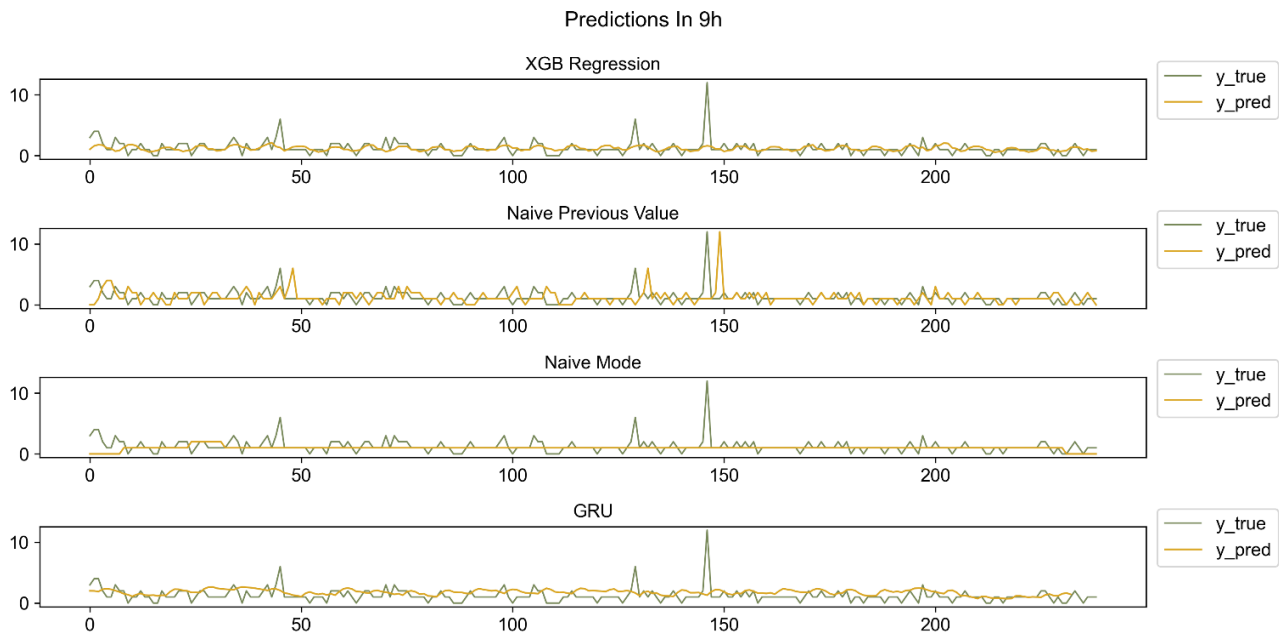


Рис. 3. Прогноз скорости ветра на 9 часов вперед за сентябрь 2024 года

Как видно из графиков, прогнозы наивных моделей значительно отличаются от реальных данных, особенно в моменты резких погодных изменений. Модели машинного обучения, в свою очередь, ближе подходят к действительным значениям, в некоторых случаях практически с точностью совпадая с реальными данными. Также, сравнение данных графиков позволяет увидеть, что точность прогноза уменьшается с увеличением горизонта, что является закономерным для задач временных рядов.

Исходя из результатов, можно заключить, что, хотя наивные модели обеспечивают основу для сравнения, им не хватает способности учиться на исторических закономерностях и адаптироваться к изменчивости данных. В сравнении с наивными, продвинутые модели, такие как XGBoost и GRU, демонстрируют лучшую точность, используя как взаимосвязи признаков, так и временную структуру, что делает их более подходящим выбором для задач прогнозирования скорости ветра. По итогу, полученные результаты подтверждают актуальность и перспективность применения методов машинного обучения в метеопрогнозировании и могут служить основой для дальнейшего развития систем

прогнозирования в целях обеспечения безопасности и эффективности проведения работ в условиях изменчивой погоды.

Список использованных источников

1. Haupt S.E., Jiménez P.A., Lee J.A., Kosovic B. Principles of meteorology and numerical weather prediction // В кн.: Kariniotakis G. (ред.) Renewable Energy Forecasting: From Models to Applications. 2017. Pp. 3–28. DOI: 10.1016/B978-0-08-100504-0.00001-9.
2. Song D., Tan X., Huang Q., Wang L., Dong M., Yang J., Solomin E. Review of AI-based wind prediction within recent three years: 2021–2023 // Energies. 2024. V. 17. №. 6. Article 1270. DOI: 10.3390/en17061270.
3. Dhungana H. A machine learning approach for wind turbine power forecasting for maintenance planning // Energy Inform. 2025. V. 8. Article 2. DOI: 10.1186/s42162-024-00459-4.
4. Rajaperumal T.A., Christopher Columbus C. Enhanced wind power forecasting using machine learning, deep learning models and ensemble integration // Scientific Reports. 2025. V. 15. Article 20572. DOI: 10.1038/s41598-025-05250-3.
5. Chicco D., Warrens M.J., Jurman G. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation // PeerJ Computer Science. 2021. V. 7. e623. DOI: 10.7717/peerj-cs.623.

УДК 534.1,004.94

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О МАЛЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ НАТЯНУТОЙ НИТИ С ПОДВЕШЕННЫМИ МАССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Павлов М.А. (студент, ВГУ), Иванов Е.А. (студент, ВШЭ)

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Пенкин О.М. (ВГУ)

e-mail: pavlovmikhail.2004@gmail.com, eaivanov_3@edu.hse.ru

В работе рассмотрена задача о малых поперечных колебаниях натянутой нити с двумя подвешенными массами. Для решения прямой задачи получено аналитическое выражение для собственных частот и форм колебаний, на основе которого был сгенерирован синтетический датасет. Данный датасет использован для обучения нейронных сетей, решающих обратную задачу восстановления параметров системы по спектральным характеристикам. Разработанная модель EnhancedPhysics с residual-связями, механизмом внимания и физической регуляризацией показала высокую точность и устойчивость к шуму ($MSE = 0.1097$), что подтверждает её эффективность.

Ключевые слова: малые колебания, обратная задача, нейронные сети, синтетический датасет, численное моделирование.

Задача о малых поперечных колебаниях натянутой нити с подвешенными массами является классической в теории колебаний и механике сплошных сред [1, 2]. Система демонстрирует богатую динамику из-за граничных условий и дискретных неоднородностей. Такие модели применяются в инженерной механике, теории конструкций и биомеханике. В работе рассмотрена система с двумя точечными массами m_1, m_2 на невесомой нерастяжимой нити длины l , натянутой с силой T , закрепленной на концах. Массы расположены в точках $0 < x_1 < x_2 < l$. Амплитуда колебаний мала, натяжение постоянно. Система имеет две степени свободы. Прямая задача решена аналитически для нахождения собственных частот $\omega_{1,2}$ и форм колебаний. Это позволило сгенерировать датасет для обратной задачи: восстановления параметров (x_1, x_2, m_1, m_2) по измеряемым $\omega_{1,2}$ и формам (углы θ). Цель – разработка метода на основе машинного обучения для нелинейной обратной задачи. Использованы нейронные сети для аппроксимации зависимостей, с генерацией синтетических данных, инженерным признакам и регуляризацией. Работа включает:

- аналитическое решение прямой задачи;
- генерацию датасета;
- построение и обучение нейросетей;
- анализ точности.

Аналитическое решение прямой задачи

Математическая модель

Механическая система: нить длины l , натяжение T , колебания в плоскости xOy . Уравнения для $y_1(t), y_2(t)$ выводятся из второго закона Ньютона:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 = \frac{T(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} - \frac{T y_1}{x_1} \\ m_2 \ddot{y}_2 = \frac{T(y_1 - y_2)}{x_2 - x_1} - \frac{T y_2}{l - x_2} \end{cases}.$$

Вводятся коэффициенты:

$$W_1 = \frac{T}{m_1(x_2 - x_1)}, \quad W_2 = \frac{T}{m_2(x_2 - x_1)}, \quad Q_1 = \frac{T}{m_1 x_1}, \quad Q_2 = \frac{T}{m_2(l - x_2)}.$$

Система упрощается до:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 = W_1(y_2 - y_1) - Q_1 y_1 \\ \ddot{y}_2 = W_2(y_1 - y_2) - Q_2 y_2 \end{cases}.$$

Решение вида $y_1 = Ae^{i\omega t}$, $y_2 = Be^{i\omega t}$ приводит к характеристическому уравнению:

$$\lambda^4 + a\lambda^2 + b = 0,$$

где $\lambda = i\omega$, $a = W_1 + W_2 + Q_1 + Q_2$, $b = W_1Q_2 + W_2Q_1 + Q_1Q_2$.

Собственные частоты:

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{a \mp \sqrt{a^2 - 4b}}{2}}.$$

Формы колебаний выражаются через соотношение амплитуд $\frac{A}{B}$, которое можно получить из системы линейных алгебраических уравнений. Введение углов отклонения θ через соотношение примерно пропорциональное $\frac{m\omega_2}{T}$ удобно для нормализации и робастной подачи на нейросеть.

Свойства спектра и чувствительность

Аналитическое выражение показывает, что спектр системы зависит сложным образом от комбинаций масс, положений и натяжения. Важные свойства:

- при симметричном расположении и равных массах появляются простые соотношения между модами;
- малые изменения в позициях x_i могут давать заметные сдвиги в ω при малых массах и слабом натяжении;
- для восстановимости должен быть соблюден инъективный характер отображения $x_1, x_2, m_1, m_2 \rightarrow \omega_1, \omega_2, \theta$; на практике это достигается добавлением информации о формах (modes shapes).

Решение обратной задачи с помощью нейронных сетей

Генерация данных

Для обучения и валидации построен синтетический датасет.

Параметры генерации:

- длина нити $l = 1$ (безразмерно);
- сила натяжения T равномерно в диапазоне $[0.5, 5]$;
- позиции $x_1 \in [0.1, 0.45]$, $x_2 \in [0.55, 0.9]$ с условием $x_1 < x_2$;
- массы $m_{1,2} \in [0.1, 5]$.

Сгенерировано 10000 базовых сэмплов, затем расширение до 75000 сэмплов путём добавления гауссовского шума на спектральные признаки (1–5% относительного уровня) и случайных вариаций параметров с резким клиппингом при необходимости для сохранения физической валидности. Вычисляемые признаки: $T, \omega_1, \omega_2, \theta_{1,\omega_1}, \theta_{1,\omega_2}, \theta_{2,\omega_1}, \theta_{2,\omega_2}$. Инженерия признаков добавляет пять производных: отношение $\frac{\omega_1}{\omega_2}$, отношения компонент форм колебаний, произведения $T\omega_i$ и др. В итоге входной вектор X имеет размерность 12, выход $Y = x_1, x_2, m_1, m_2$. Ниже приведён упрощённый фрагмент кода генерации (Python):

```
import numpy as np
def compute_omegas(T, m1, m2, x1, x2, l=1.0):
    W1 = T / (m1 * (x2 - x1))
    W2 = T / (m2 * (x2 - x1))
    Q1 = T / (m1 * x1)
```

```
Q2 = T / (m2 * (l - x2))
a = W1 + W2 + Q1 + Q2
b = W1*Q2 + W2*Q1 + Q1*Q2
discriminant = a*a - 4*b
omega1 = np.sqrt((a - np.sqrt(discriminant))/2)
omega2 = np.sqrt((a + np.sqrt(discriminant))/2)
return np.sort([omega1, omega2])
```

Инженерия признаков и предобработка

Признаки стандартизованы StandardScalerом. На этапе аугментации вводились следующие приёмы:

- пропорциональный шум на ω и θ (Gaussian, sigma = 0.01–0.05);
- случайное смещение T в пределах 2–5% для имитации неопределённости натяжения;
- отбрасывание сэмплов, ведущих к комплексным частотам (в случае нарушения физических ограничений).

Архитектуры моделей

PhysicsNet (базовая). Полносвязная сеть: вход 12 $\rightarrow$ Linear(12,256)–BatchNorm–ReLU–Dropout(0.2)–Linear(256,512)–ReLU–Linear(512,256)–ReLU–Linear(256,128)–ReLU–Linear(128,4).

Функция потерь MSELoss, оптимизатор Adam (lr=0.001), ReduceLROnPlateau.

EnhancedPhysicsNet. Улучшенная архитектура включает:

- residual-блоки: каждый блок реализует $y = x + F(x)$ $y = x + F(x)$ $y = x + F(x)$ $y = x + F(x)$, где F – две плотные слои с нормализацией и ReLU;
- attention-механизм над входными признаками: небольшая сетевая подструктура вычисляет веса признаков (softmax) и перемножает их с признаками перед основными блоками [3];
- физические регуляризаторы, встраиваемые в функцию потерь для поддержания порядка $x_1 < x_2$ и положительности масс.

Функция потерь:

$$L_{total} = L_{MSE} + \alpha L_{order} + \beta L_{mass},$$

где

$$L_{order} = \text{mean}(\text{ReLU}(\hat{x}_1 - \hat{x}_2)),$$

$$L_{mass} = \text{mean}(\text{ReLU}(-\hat{m}_1) + \text{ReLU}(-\hat{m}_2)).$$

Значения гиперпараметров: $\alpha = 10.0$, $\beta = 5.0$ (подбирались на валидации). Оптимизация: AdamW, OneCycleLR (максимальный $lr = 1e - 3$), весовая регуляризация ($weight decay = 1e - 5$). EarlyStopping по показателю validation MSE с patience = 15. Ниже приведён код EnhancedPhysicsNet (Python):

```
class EnhancedPhysicsNet(nn.Module):
    def __init__(self, input_size, output_size):
        super(EnhancedPhysicsNet, self).__init__()
        self.fc1 = nn.Linear(input_size, 512)
        self.bn1 = nn.BatchNorm1d(512)

        self.res_block1 = nn.Sequential(
            nn.Linear(512, 512),
            nn.BatchNorm1d(512),
            nn.ReLU(),
            nn.Dropout(0.4),
            nn.Linear(512, 512),
```

```

nn.BatchNorm1d(512),
nn.ReLU(),
nn.Dropout(0.4)
)

self.

def forward(self, x):
    x = F.relu(self.bn1(self.fc1(x)))
    attention = nn.Sequential(
        nn.Linear(512, 256),
        nn.ReLU(),
        nn.Linear(256, 512),
        nn.Sigmoid()
    )

    self.fc2 = nn.Linear(512, 256)
    self.bn2 = nn.BatchNorm1d(256)

    self.fc3 = nn.Linear(256, 128)
    self.output = nn.Linear(128, output_size)

    residual = x
    x = self.res_block1(x)
    x = x + residual

    attn_weights = self.attention(x)
    x = x * attn_weights

    x = F.relu(self.bn2(self.fc2(x)))
    x = F.relu(self.fc3(x))
    return self.output(x)

```

Пост-обработка предсказаний

После вывода сети накладывается клиппинг: $x_1 \in [0.05, 0.49]$, $x_2 \in [0.51, 0.95]$, $m_{1,2} = \max(\hat{m}_i, 1e - 3)$. Также осуществляется сортировка по возрастанию $x_1 < x_2$ на случай небольшого нарушения порядка.

Численные эксперименты и результаты

Метрики и протокол эксперимента

В качестве основной метрики использовалось среднеквадратичное отклонение (MSE) по четырём выходным величинам. Данные разделены на train/val/test в пропорции 70/15/15. Для оценки робастности к шуму выполнены дополнительные тесты с уровнями шума 0%, 2%, 5% и 10%.

Базовые результаты

EnhancedPhysicsNet показала MSE=0.1097 на тестовой выборке, что улучшение по сравнению с базовой PhysicsNet (примерно 0.157–0.175 в зависимости от рандомизации). В таблице 1 приведены агрегированные метрики.

Таблица. Сравнение моделей

Модель	MSE (test)	Замечания
PhysicsNet (базовая)	0.162	Простая полносвязная сеть
EnhancedPhysicsNet	0.1097	Residual + attention + phys reg
EnhancedPhysicsNet (с шумом 5%)	0.127	Устойчивость к шуму

Примеры восстановления

Пример 1 (симметрия, $T=1, m_1=m_2=1, x_1=1/3, x_2=2/3$): модель восстановила параметры с погрешностью порядка $< 1\%$.

Пример 2 (асимметрия): входные признаки [1.129, 1.225, 2.094, 3.087, 2.340, 3.235, 1.054] соответствуют реальным параметрам $x_1 = 0.155, x_2 = 0.601, m_1 = 2.41, m_2 = 2.99$. Предсказание: $x_1 = 0.1549, x_2 = 0.6047, m_1 = 2.4718, m_2 = 2.9212$ (погрешность $< 3\%$).

Заключение

В работе последовательно решены прямая и обратная задачи малых поперечных колебаний натянутой нити с двумя точечными массами. Прямая задача получена аналитически и подтверждена численным расчётом, что позволило сгенерировать обширный синтетический набор данных для обучения. Для обратной задачи предложена и реализована нейросетевая модель EnhancedPhysicsNet с residual-блоками, механизмом внимания и встроенной физической регуляризацией. Модель продемонстрировала хорошую точность восстановления параметров ($MSE = 0.1097$ на тестовой выборке) и повышенную устойчивость к спектральному шуму по сравнению с базовой полносвязной архитектурой. Показано, что сочетание физически обоснованной инженерии признаков, attention-модуля и штрафов, накладываемых на физические ограничения (порядок позиций и положительность масс), значительно улучшает стабильность и интерпретируемость предсказаний. Ограничения исследования связаны с использованием преимущественно синтетических данных и упрощённой физической модели (линейная аппроксимация, без учёта демпфирования и нелинейности при больших амплитудах). В качестве перспектив дальнейшей работы предлагается: расширение на случай $N > 2$ масс с применением разрежённых представлений и методов отбора признаков; включение демпфирования и нелинейных эффектов в прямую модель и обучение гибридных physics-informed архитектур; экспериментальная валидация подхода на лабораторной установке; внедрение методов оценки неопределённости (энсемблирование, байесовские подходы) для получения доверительных интервалов предсказаний. Предлагаемый подход представляет практический интерес для задач неразрушающего контроля и системной идентификации динамических конструкций.

Список использованных источников

1. Крауфорд Ф. Волны / Пер с англ. – М:Наука. 1974. 528 с.
2. Лагранж Ж. Аналитическая механика: в 2 т. Т.1. – М.:Книга по требованию. 2015. 602 с.
3. Васвани А., Шейзер Н., Пармар Н., Узскорейт Я., Джонс Л., Гомес Э., Кайзер Л., Полосухин И. Attention Is All You Need. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1706.03762> (дата обращения: 28.08.2025).

УДК 621.65.03, 004.021

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Синицин Н.В. (аспирант ЮУрГУ, ИнИТ)

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Шестаков А.Л. (ЮУрГУ)

e-mail: sinitsinnv@susu.ru shestakoval@susu.ru

Представлен метод диагностики центробежного насоса по пульсациям давления, сочетающий дискретное вейвлет-преобразование для извлечения признаков и метода опорных векторов (SVM) для классификации пяти состояний центробежного насоса (исправный, кавитация, дефекты крышки/рабочего колеса, комбинированный). Проверка метода осуществлялась на экспериментальных данных. Получена точность классификации 99%. Ложные срабатывания в классе «исправный» отсутствуют. Подход пригоден для встроенного мониторинга и раннего обнаружения гидродинамических дефектов в режиме реального времени.

Ключевые слова: *центробежный насос; пульсации давления; дискретное вейвлет-преобразование; метод опорных векторов; диагностика неисправностей; кавитация.*

Введение

Центробежные насосы (ЦН) широко применяются в энергетике, различных отраслях промышленности и станкостроении, где они играют ключевую роль в обеспечении стабильной подачи жидкостей в технологических процессах. Отказ или ненормальная работа ЦН может приводить к серьёзным последствиям – остановке оборудования, нарушению технологических циклов и значительным экономическим потерям. Поэтому надёжность насосного оборудования и своевременное выявление зарождающихся неисправностей являются важными условиями бесперебойной эксплуатации критических систем.

Традиционные подходы к техническому обслуживанию центробежных насосов, основанные на плановом ремонте или работе до отказа, нередко оказываются неэффективными, так как не учитывают фактического состояния агрегата. В результате профилактические работы могут выполняться несвоевременно. Отказ оборудования происходит неожиданно между регламентными осмотрами. В современных условиях назрела необходимость перехода от регламентного обслуживания к мониторингу оборудования по состоянию. Реализация такого подхода требует развития методов диагностики, способных в режиме реального времени контролировать состояние ЦН и своевременно обнаруживать дефекты на ранних стадиях их развития [1, 2].

В классической диагностике насосов применяется анализ сигналов вибрации, акустической эмиссии, шума и электрических параметров привода (ток, мощность). Однако эти сигналы косвенно отражают гидродинамические процессы в проточной части. Вибрационный канал прежде всего отражает динамику корпуса и узлов вращения. Он чувствителен к месту и способу крепления датчика, внешним ударам и фоновой вибрации. Поэтому ранние гидродинамические аномалии (кавитация, частичная закупорка, входная рециркуляция) маскируются за счет внешних шумов: механических колебаний конструкции, и их селективное выявление затруднено [2]. Анализ токов привода — косвенный подход к диагностике ЦН. Ток двигателя является суммарным показателем нагрузки на вал и режима управления. Также такой метод диагностики зависит от ПЧ/ШИМ, колебаний питающей сети и сопутствующих механических дефектов привода/насоса. В результате чувствительность и избирательность к локальным нарушениям течения ограничены [2, 3]. Акустические измерения фиксируют воздушный звук и сильно зависят от акустической обстановки. В производственных условиях это приводит к низкому отношению сигнал/шум и делает метод непрактичным без специальных мер экранирования и шумоподавления [3].

Сигнал пульсаций непосредственно связан с гидропроцессами (возникновение лопаточная частота и её боковые составляющие, низкочастотные режимы рециркуляции, широкополосные всплески кавитации), что обеспечивает высокую чувствительность к гидродефектам по сравнению с косвенными методами [2, 4–7]. Для извлечения информативных признаков из

сигналов пульсаций давления в настоящем исследовании применяется дискретное вейвлет-преобразование (DWT), позволяющее выявлять характерные нестационарные компоненты, связанные с дефектами насоса [8, 9]. Далее, для автоматической классификации технического состояния агрегата по выделенным признакам используется метод опорных векторов (SVM), способный работать на малой выборке данных [8, 10–12].

Алгоритм диагностики

Алгоритм диагностики основан на анализе пульсаций давления рабочей жидкости: из сигналов пульсации жидкости извлекаются информативные признаки, чувствительные к дефектам центробежного насоса, после чего их обобщённая оценка выполняется классификатором для определения технического состояния агрегата. В качестве метода для извлечения диагностических признаков выбрано дискретное вейвлет-преобразование (DWT), обеспечивающее частотно-временную локализацию кратковременных аномалий сигнала. Такой подход позволяет надёжно выявлять импульсные компоненты, обусловленные возникновением кавитации и механическими ударами, возникающими вследствие повреждений узлов насоса [8, 9].

DWT позволяет разложить исходный сигнал на семейство базисных функций, $\varphi(t)$ и вейвлета $\psi(t)$ [6, 8–9].

Масштаб a и сдвиг b описываются выражением: $a = 2^j$, $b = k \cdot 2^j$, где $j, k \in \mathbb{Z}$. Отсюда базисные функции определяются как:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \cdot \psi(2^j t - k), \quad (1)$$

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \cdot \varphi(2^j t - k), \quad (2)$$

где $\psi_{j,k}(t)$ и $\varphi_{j,k}(t)$ образуют ортонормированный базис пространства сигналов. Разложение начинается с рекурсивного соотношения для функции масштабирования:

$$\varphi(t) = \sqrt{2} \sum_k h_k \varphi(2t - k), \quad (3)$$

где $\varphi(t)$ – коэффициенты низкочастотного фильтра (масштабирующего фильтра), удовлетворяющие условиям ортогональности. Аналогично вводится связанный высокочастотный фильтр g_k для вейвлет-функции:

$$g_k = (-1)^k h_{1-k}, \quad (4)$$

DWT осуществляется посредством многоуровневого фильтр-банка. На первом уровне исходный дискретный сигнал $x[n]$ пропускается через низкочастотный фильтр h_k и высокочастотный фильтр g_k с децимацией по фактору 2. В результате получаются коэффициенты аппроксимации $a_1[k]$ и детализации $d_1[k]$. Затем коэффициенты аппроксимации a_1 сами подвергаются такому же разложению для получения a_2 и d_2 и т.д. Рекурсивное применение разложения до уровня J дает набор коэффициентов [7]:

$$\{a_J[k]\}, \{d_J[k]\} \{d_{J-1}[k]\}, \dots, \{d_1[k]\}, \quad (5)$$

где $a_J[k]$ и $d_J[k]$ – коэффициенты аппроксимации и детализации на J -м уровне. Аппроксимация несет в себе низкочастотные компоненты изменения процесса, а коэффициент детализации содержит высокочастотные компоненты, указывающие на резкие изменения в сигнале [8, 9]. Такая декомпозиция позволяет выделить кратковременные выбросы и изменения в сигнале, связанные с дефектами насоса, которые трудно обнаружить методами на основе преобразования Фурье.

После применения DWT к сигналу пульсаций давления на каждом уровне разложения рассчитываются диагностические признаки – числовые показатели, количественно описывающие форму и энергию сигнала. В работе используются статистические параметры, вычисляемые из наборов коэффициентов a_j и d_j каждого уровня: энергия сигнала, энтропия, коэффициент асимметрии и коэффициент эксцесса. Эти параметры формируют многомерный признаковый вектор, подаваемый на вход бинарного классификатора. Таким образом,

благодаря вейвлет-разложению удаётся получить локальные частотно-временные характеристики сигнала, чувствительные к изменениям технического состояния насоса [9].

Для автоматической классификации состояний насоса по вычисленным признакам используется SVM – алгоритм обучения с учителем, который строит разделяющую гиперплоскость с максимальным зазором между классами в пространстве признаков. SVM ищет оптимальную разделяющую гиперплоскость между данными разных классов в пространстве признаков. В простейшей задаче бинарной классификации SVM строит функцию вида:

$$f(x) = w^T \varphi(x) + b, \quad (6)$$

где $\varphi(x)$ – отображение признаковового пространства, w – весовой вектор, b – смещение гиперплоскости. Оптимальная гиперплоскость выбирается так, чтобы максимизировать зазор между ближайшими точками разных классов – опорными векторами. Обучение SVM формулируется как минимизация регуляризованного эмпирического риска на размеченной обучающей выборке $\{(X_j, y_i)\}$: суммируется потеря классификации на обучающих примерах и регуляризатор (ограничение нормы параметров модели), причём коэффициент C определяет компромисс между качеством на обучении и сложностью модели [10]. В работе использовалась многоклассовая схема на базе SVM для классификации пяти состояний насоса (исправный, кавитация, дефекты крышки/рабочего колеса, комбинированный) [11]. В рассматриваемой задаче высокого результата удалось добиться при помощи линейного SVM, за счет информативности выбранных признаков и их явному разделению на классы. SVM-классификатор обучается на предварительно размеченных данных: каждому состоянию присваивается метка класса, после чего алгоритм находит оптимальные границы между крайними векторами классов в признаковом пространстве. В отличие от статистических пороговых методов диагностики, которые требуют большого объёма априорных данных и знаний распределений параметров, SVM хорошо работает даже на относительно небольших обучающих выборках, эффективно обобщая закономерности и избегая переобучения [8, 12]. Полученная модель затем используется для распознавания состояния насоса по новым измерениям в режиме реального времени.

Блок-схема алгоритма диагностики представлена на рисунке 1.

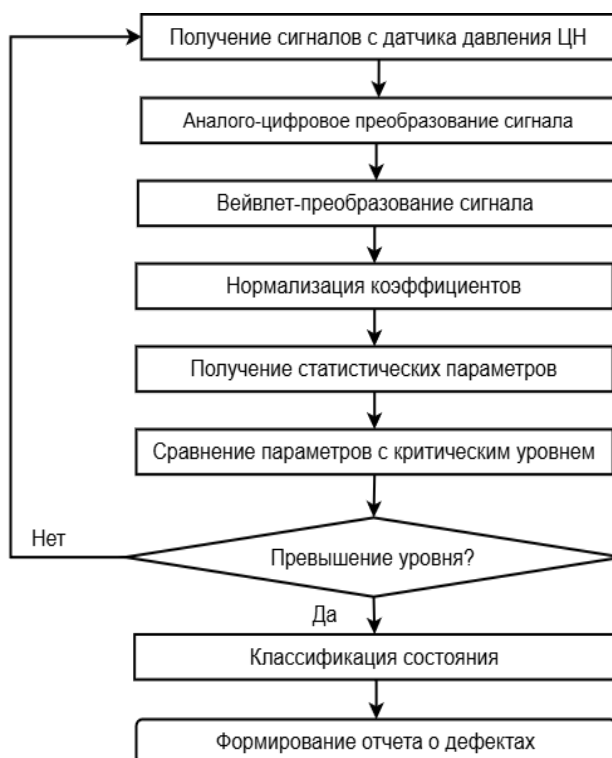


Рис. 1. Блок-схема алгоритма диагностики ЦН

Данный алгоритм обладает высокой устойчивостью к нестационарности сигналов за счёт применения вейвлет-анализа и способен адаптивно выделять пороговые границы между классами состояний с помощью SVM. В результате достигается надежная и гибкая диагностика, пригодная для интеграции в систему управления топливной системой летательного аппарата в режиме реального времени.

Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Все эксперименты проводились на лабораторном стенде SpectraQuest MFS-Magnum – универсальной модульной установке для моделирования неисправностей вращающихся машин (рис. 2).

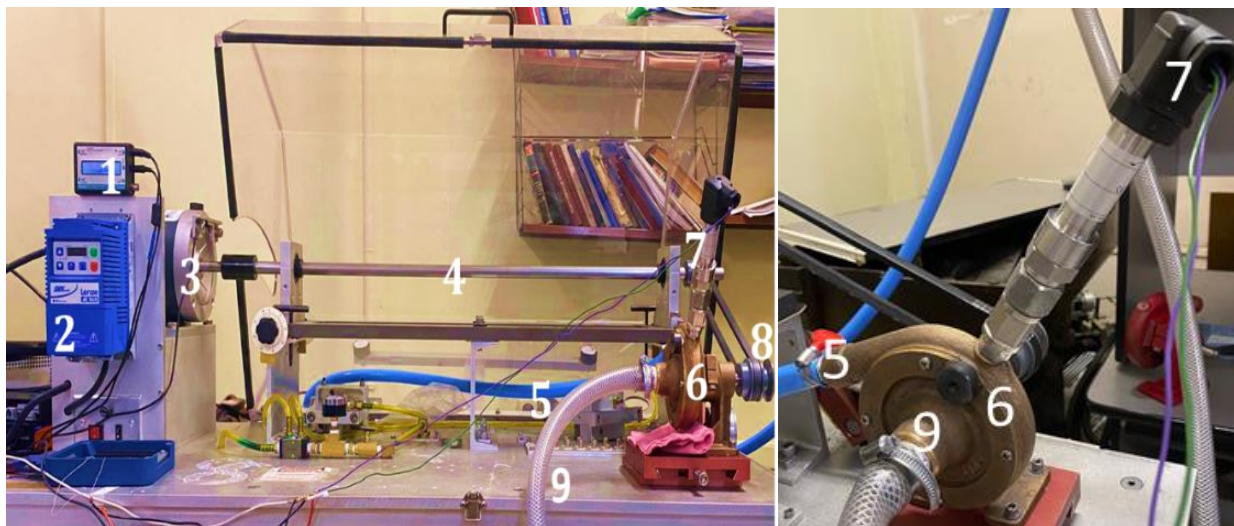


Рис. 2. Лабораторный стенд MFS-Magnum

1 – тахометр, 2 – частотный преобразователь, 3 – электродвигатель, 4 – вал, 5 – выходной патрубок, 6 – центробежный насос, 7 – датчик давления, 8 – ременная передача, 9 – входной патрубок

Данный стенд оснащён центробежным насосом модели 60P Oberdorf (номинальная подача 60 м³/ч, напор 30 м вод. ст., частота вращения 2900 об/мин, КПД ~68%, максимальное рабочее давление 1,6 МПа). Насос приводится во вращение асинхронным электродвигателем через ременную передачу с частотным регулированием скорости. На корпусе насоса, со стороны выходного патрубка, установлен датчик давления Keller PR-23 для регистрации пульсаций давления. Выходной сигнал датчика (диапазон 0–10 бар, интерфейс 4–20 мА) подаётся на систему сбора данных NI PXI.

В рамках исследования рассматривалось пять состояний (классов) центробежного насоса:

1. Исправный насос.
2. Кавитация – имитация непроектного режима работы насоса, путем частичного перекрытия входного патрубка насоса.
3. Дефект крышки насоса (рис. 3,а).
4. Дефект рабочего колеса (рис. 3,б).
5. Комбинированный дефект – одновременное наличие повреждений крышки и рабочего колеса.

Для каждого из указанных состояний насос испытывался при различных режимах работы. Задавались пять различных скоростей вращения двигателя (40, 45, 50, 55 и 60 Гц) и три уровня нагрузки путем регулировки выходного дроссельного клапана. Таким образом, всего было выполнено 75 экспериментальных наборов (5 состояний × 5 скоростей × 3 нагрузки). Данные собирались для каждой комбинации «состояние–скорость–нагрузка» в течение 120 с непрерывного режима. Частота дискретизации составляла 5000 Гц, то есть записывалось 600 тыс. отсчётов значения давления за один эксперимент. Сигналы пульсаций давления записывались в единицах напряжения через систему NI PXI.

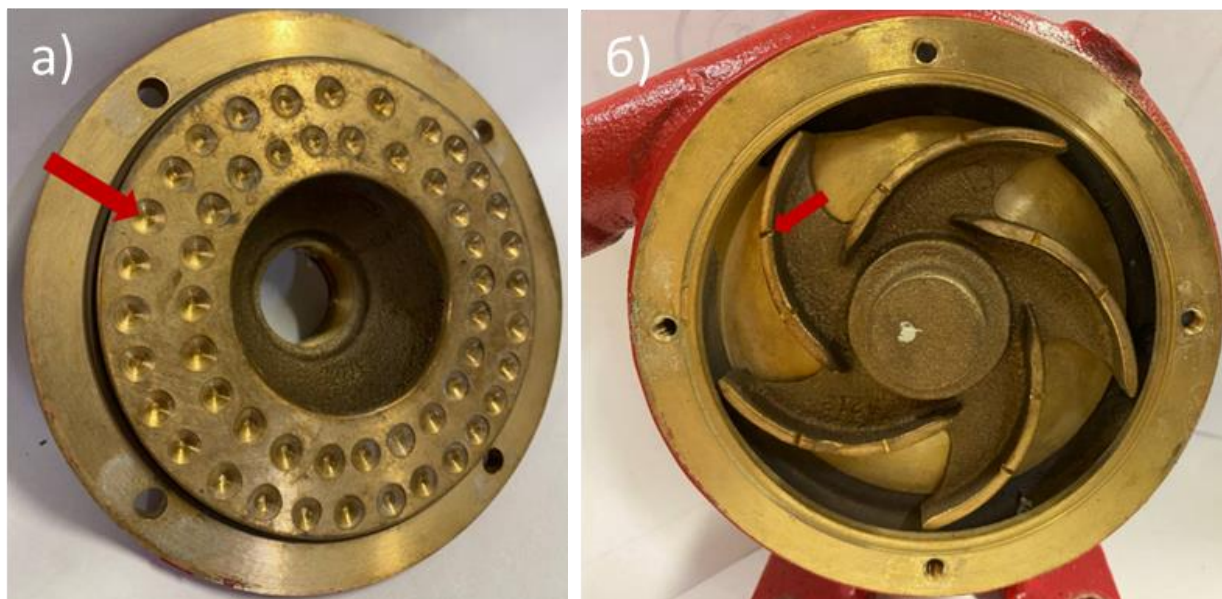


Рис. 3. Дефекты крышки и рабочего колеса насоса

Каждому сигналу пульсации давления присваивалась метка класса в зависимости от состояния насоса при эксперименте. Таким образом, сформирована экспериментальная база из множества реализованных режимов, охватывающая все пять классов состояния центробежного насоса для различных частот вращения и нагрузок, что обеспечивает надежный набор данных для последующего анализа и проверки алгоритмов диагностики.

Результаты

Для тестирования работоспособности метода классификации использовалось два метода обучения классификатора. В первом методе каждый набор делился на тренировочную (70%) и тестовую (30%) выборки. Для обработки использовалось дискретное вейвлет-преобразование: сигнал разбивался на окна фиксированной длины, из каждого окна выделялись DWT-коэффициенты, после чего из каждого коэффициента разложения вычислялись статистические признаки. и применялись для обучения SVM-классификатора.

По результатам валидации на отложенной выборке были получены высокие значения верных ответов по всем классам (таблица).

Таблица. Результатам валидации

Тип неисправности насоса	Точность классификации, %
Исправный	100.00
Кавитация	98.46
Дефект крышки	99.54
Дефект рабочего колеса	98.15
Комбинированный дефект	99.77

Средняя точность на тесте составила 99% (рис. 4).

При этом не было ложных срабатываний в классе «исправный», а большинство ошибок заключалось в путанице между разными дефектными состояниями, что считается удовлетворительным с точки зрения диагностики. Стандартное обучение 70/30 демонстрирует высокую общую точность определения класса ($\approx 99\%$), однако в этой схеме обучающая и тестовая выборки содержат данные из тех же режимов работы. Это повышает точность, но не проверяет адаптивность модели к новым условиям.

Второй метод обучения модели классификатора основан на обучении SVM на данных всех классов при частотах 40, 45, 50 и 60 Гц, а тестирование на данных с частотой вращения двигателя 55 Гц, которые ранее не были использованы при обучении. Такой подход проверяет обобщающую способность алгоритма на новых условиях.

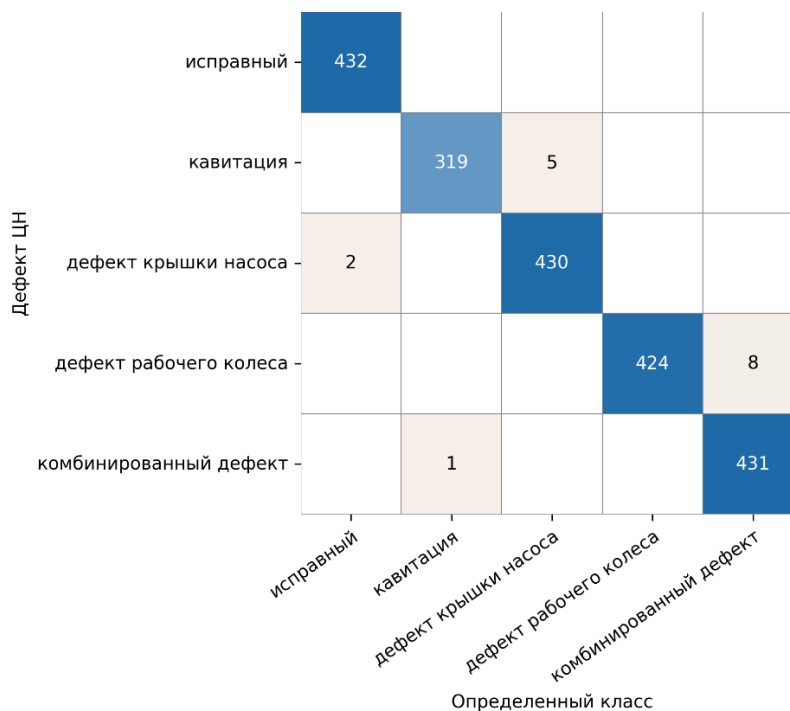


Рис. 4. Матрица классификации при обучении 70/30

Такой метод показал высокую точность определения состояния ЦН: классификатор достоверно определял все пять состояний ЦН с точностью 100 % (рис. 5).

Это подтверждает, что обученная модель успешно обобщила закономерности сигналов при разных нагрузках и режимах работы, устойчиво классифицируя состояния ЦН на ранее неизвестной частоте вращения двигателя. Данный метод демонстрирует исключительную адаптивность (100 % точности) при диагностике на новых режимах, однако его сильный результат может быть обусловлен относительно контролируруемыми лабораторными условиями и сравнительно небольшой вариативностью данных.

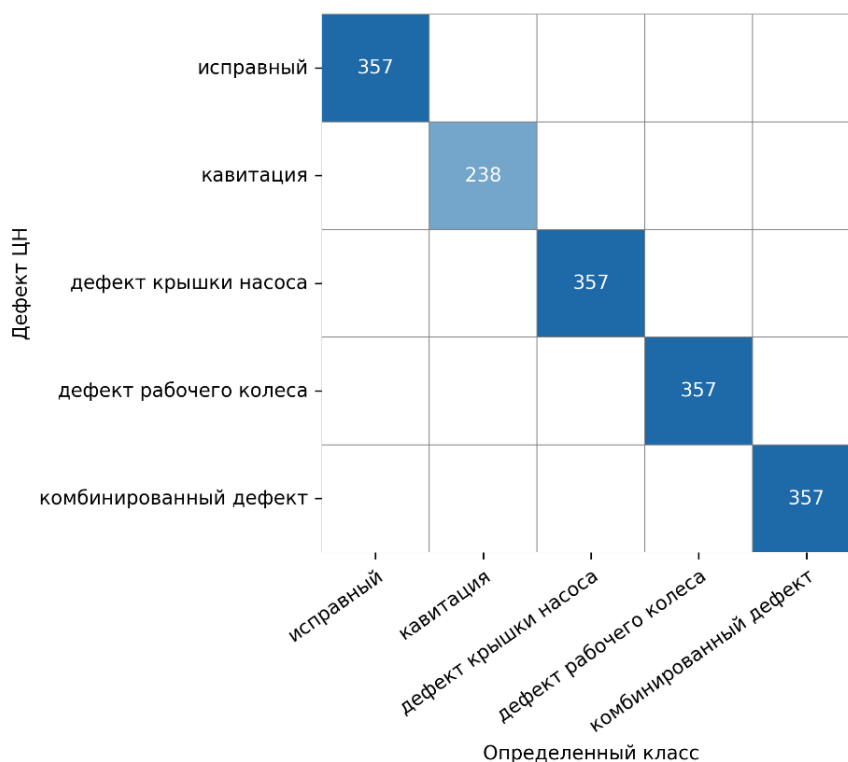


Рис. 5. Матрица классификации при неизвестной частоте 55 Гц

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности выбранного подхода к диагностике центробежного насоса. Даже при относительно небольшой обучающей выборке метод смог правильно классифицировать состояния насосов с высокой точностью.

Кавитация и многие дефекты проявляются в виде кратковременных всплесков пульсаций давления, спектральные характеристики которых меняются со временем. Применение быстрого преобразования Фурье, рассчитанного по всему сигналу, не учитывает локальные временные особенности – использование БПФ на всей длине сигнала подразумевает стационарность сигнала; в этих условиях кратковременные события утрачивают временную локализацию и вырождаются до низкоамплитудного широкополосного вклада, что затрудняет их детектирование. В отличие от этого, вейвлет-анализ позволяет локализовать аномалию одновременно по времени и частоте, эффективно выявляя переходные процессы. В результатах экспериментов это проявилось в безошибочном обнаружении кавитации и других динамических эффектов. Предложенный метод DWT+SVM превосходит классические подходы диагностики по точности. Таким образом, ключевые преимущества предлагаемого подхода заключаются в его способности обнаруживать нестационарные и комбинированные дефекты с высокой достоверностью, устойчивости к изменению режимов работы и эффективности при малой обучающей выборке по сравнению с традиционными методами спектрального анализа.

Заключение

Важным итогом является то, что высокая достоверность диагностики сохраняется даже при изменении частоты вращения насоса, нагрузок и сочетании дефектов – метод устойчиво выделяет характерные признаки каждого состояния.

Система на основе DWT+SVM имеет высокую точность классификации состояний насоса и может применяться для раннего обнаружения неисправностей в насосных агрегатах на практике, из-за своей простоты интеграции в систему подачи жидкости, а также высокой устойчивости к внешним шумам. Это позволит обслуживающему персоналу своевременно выявлять зарождающиеся дефекты (такие как кавитация или повреждение узлов насоса) и предпринимать профилактические меры до развития аварийной ситуации. Кроме того, предложенный алгоритм может быть реализован в виде встроенного модуля диагностики без существенных доработок аппаратуры. Перспективы дальнейшего развития связаны с адаптацией метода под различные типы насосов и условий эксплуатации, а также с интеграцией в автоматизированные системы техобслуживания. Таким образом, разработанная система диагностики на основе DWT и SVM обладает высоким потенциалом для практического применения, повышая безопасность и эффективность эксплуатации насосного оборудования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание на выполнение фундаментальных научных исследований №FENU-2023-0010 (2023010Г3)).

Список использованных источников

1. Tu Y., Zhao X., Lu L. et al. Flow Characteristics and Pressure Pulsation Analysis of Cavitation Induced in a Double-Volute Centrifugal Pump // Water. 2025. V. 17. №. 3. P. 445.
2. Al-Obaidi A.R. Investigation of effect of pump rotational speed on performance and detection of cavitation within a centrifugal pump using vibration analysis // Heliyon. 2019. V. 5. №. 6. P. 101910.
3. Dutta A., Karimi I.A., Farooq S. PROAD (Process Advisor): A health monitoring framework for centrifugal pumps // Computers & Chemical Engineering. 2022. Vol. 163. P. 107825.
4. ALTobi M.A.S., Bevan G., Wallace P. et al. Fault diagnosis of a centrifugal pump using MLP-GABP and SVM with CWT // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2019. V. 22. №. 3. Pp. 854–861.
5. Yao F., Zhang R., Lin Q. et al. Plasma immune profiling combined with machine learning contributes to diagnosis and prognosis of active pulmonary tuberculosis // Emerging Microbes & Infections. 2024. V. 13. №. 1. DOI: 10.1080/22221751.2024.2370399.
6. Surucu O., Gadsden S. A., Yawney J. Condition Monitoring using Machine Learning: A Review of Theory, Applications, and Recent Advances // Expert Systems with Applications. 2023. V. 221. P. 119738.
7. Han Y., Zou J., Gong B. et al. The use of model-based voltage and current analysis for torque oscillation detection and improved condition monitoring of centrifugal pumps // Mechanical Systems and Signal Processing. 2025. V. 222. P. 111781.

8. Han Y., Zou J., Presas A. et al. Off-Design Operation and Cavitation Detection in Centrifugal Pumps Using Vibration and Motor Stator Current Analyses // *Sensors*. 2024. V. 24. №. 11. P. 3410.
9. Tiwari R., Bordoloi D.J., Dewangan A. Blockage and cavitation detection in centrifugal pumps from dynamic pressure signal using deep learning algorithm // *Measurement*. 2021. V. 173. P. 108676.
10. Lu J., Liu J., Qian L. et al. Investigation of pressure pulsation induced by quasi-steady cavitation in a centrifugal pump // *Physics of Fluids*. 2023. V. 35. №. 2. <https://doi.org/10.1063/5.0135095>.
11. Stephen C. A review of cavitation effects on vibration in centrifugal pump // *Fluid Mechanics Research International Journal*. 2018. V. 2. №. 3. DOI: 10.15406/fmrij.2018.02.00028.
12. Sun H., Lan Q., Si Q. et al. Cavitation detection via motor current signal analysis for a centrifugal pump in the pumped storage pump station // *Journal of Energy Storage*. 2024. V. 81. P. 110417.

УДК 004

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сорокин А.А. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: Захаров Д.Н. (ассистент, ИТМО)

e-mail: sorokinartem2506@gmail.com

В статье представлен метод анализа и прогнозирования энергопотребления промышленных предприятий на основе данных временных рядов. Применены методы машинного обучения: кластеризация KMeans для выявления режимов работы, алгоритм Random Forest для прогнозирования пиковых нагрузок и Isolation Forest для обнаружения аномалий. Полученные результаты позволяют оптимизировать работу предприятия и снизить расходы на электроэнергию.

Ключевые слова: энергопотребление, промышленные предприятия, прогнозирование, машинное обучение, кластеризация, аномалии, временные ряды.

Введение

Энергопотребление промышленных предприятий считается ключевой составляющей себестоимости продукции и важным фактором устойчивого развития. В условиях роста тарифов на электроэнергию и повышения требований к энергоэффективности задача прогнозирования энергопотребления приобретает особую актуальность.

Традиционно для прогноза энергопотребления применяются статистические методы анализа временных рядов, такие как скользящее среднее или ARIMA [1]. Однако эти подходы плохо учитывают сложную сезонность и нелинейные факторы, характерные для работы промышленного оборудования. Современные методы машинного обучения позволяют строить более точные модели, но зачастую их применение ограничивается отдельными задачами: либо прогнозирование, либо выявление аномалий.

Предлагаемый подход сочетает в себе элементы кластеризации и прогнозирования с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM [2], что обеспечивает как выявление аномальных пиков энергопотребления, так и построение прогноза на основе исторических данных. Таким образом, достигается двойной эффект: снижение риска перегрузок и оптимизация расходов на энергию.

Ранее исследователи в области прогнозирования показали, что ансамблевые методы машинного обучения, такие как Random Forest и Gradient Boosting, обладают высокой точностью в задачах краткосрочного прогнозирования энергопотребления. Так, Pop et al. показали, что использование ансамблей алгоритмов машинного обучения, в частности взвешенного сочетания Random Forest и Gradient Boosting, позволяет получить более точные результаты, чем применение каждого алгоритма по отдельности [3].

Другой значимый вклад был сделан Wang и соавт., которые предложили гибридный подход к обнаружению аномалий на основе прогнозирования временных рядов энергопотребления [4]. Сначала формируется высокоточный прогноз с использованием архитектур типа Autoformer [2], а затем на основе анализа остатка выявляются аномалии. Такой подход существенно улучшает качество обнаружения отклонений и особенно полезен для промышленных предприятий, где аномалии могут приводить к серьезным сбоям.

Таким образом, анализ существующих решений показывает, что наиболее перспективными являются методы, объединяющие прогнозирование с дополнительными процедурами обработки данных – кластеризацией, анализом остатков или ансамблированием моделей.

Описание метода

В качестве исходных данных использован открытый набор Steel Industry Energy Consumption Dataset, содержащий показания энергопотребления предприятия по минутным интервалам [5].

На этапе предварительной обработки проведена стандартизация и преобразование данных:

- временные метки приведены к единому формату;

- пропуски заменены средними значениями (для энергопотребления) и линейной интерполяцией (для временных признаков);
- дополнительно выполнено построение дополнительных признаков, таких как скользящие средние (MA7, MA30), лаговые переменные (Lag1, Lag7), календарные индикаторы (час, день недели, месяц).

Результаты предобработки позволяют проследить динамику энергопотребления и выявить характерные закономерности.



Рис. 1. Динамика энергопотребления предприятия во времени

Для выявления типовых режимов потребления использован метод KMeans [6]. Кластеризация позволила разделить данные на три группы, соответствующие низкому, среднему и высокому уровням нагрузки. Кластеризация методом K-means направлена на разбиение набора данных на k кластеров, таких, что каждый объект принадлежит кластеру с ближайшим центром кластера. Цель алгоритма — минимизировать суммарное расстояние точек кластеров от их центров. Кластеризацию можно рассматривать как классификацию без размеченных данных (без учителя), то есть алгоритм должен классифицировать данные сам, без маркировки [7].



Рис. 2. Кластеры режимов энергопотребления

Прогнозирование выполнено с использованием алгоритма Random Forest Regressor. В качестве признаков использовались:

- календарные индикаторы (час, день недели, месяц),
- скользящие средние (MA7, MA30),
- лаговые переменные (Lag1, Lag7).

Такая комбинация признаков позволяет учитывать сезонные колебания и автокорреляцию временного ряда. Фрагмент программного кода:

```
# Формирование признаков для модели
data['Hour'] = data.index.hour
data['DayOfWeek'] = data.index.dayofweek
data['Month'] = data.index.month
data['MA7'] = data['Usage_kWh'].rolling(window=7).mean().bfill()
data['MA30'] = data['Usage_kWh'].rolling(window=30).mean().bfill()
data['Lag1'] = data['Usage_kWh'].shift(1)
data['Lag7'] = data['Usage_kWh'].shift(7)
# Обучение модели Random Forest (на основании математической формулы 1)
model = RandomForestRegressor(n_estimators=200, random_state=42)
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
# Определение пиковых нагрузок
threshold = y_test.mean() + 1.5*y_test.std()
peaks = y_test[y_test > threshold]
```

Обучение модели Random Forest заключается в построении ансамбля T деревьев решений $h_i(x)$, каждое из которых прогнозирует энергопотребление на основе входных признаков x_t .

Итоговое предсказание γ_t формируется как среднее предсказаний всех деревьев:

$$\hat{\gamma}_t = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T h_i(x_t), \quad (1)$$

где T – число деревьев в ансамбле, $h_i(x_t)$ – предсказание i -го дерева для признаков x_t , $\hat{\gamma}_t$ – итоговое предсказание энергопотребления в момент времени t .

Результаты, представленные на рисунке 3, показывают, что модель адекватно отражает сезонные колебания нагрузки и позволяет идентифицировать периоды пикового энергопотребления.

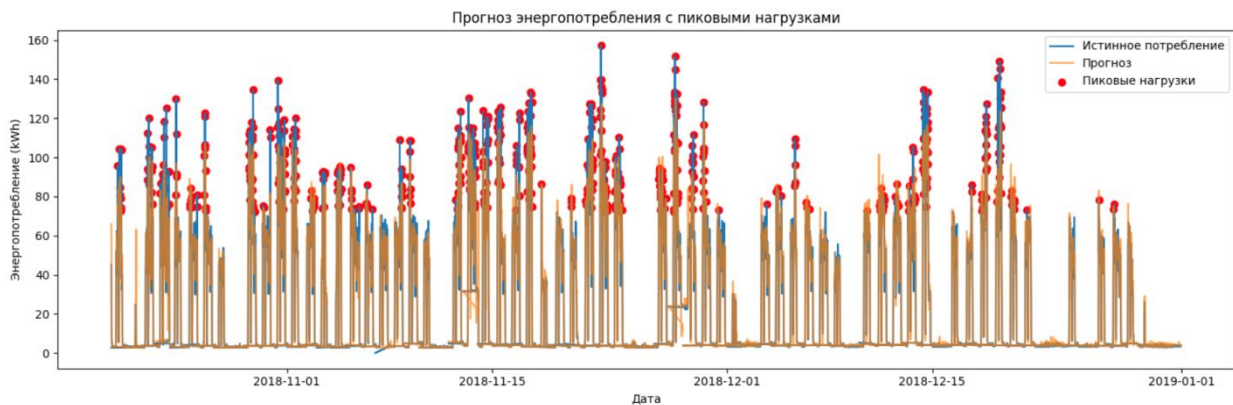


Рис. 3. Прогноз энергопотребления с пиковыми нагрузками

Для контроля качества работы модели используется средняя абсолютная ошибка MAE и RMSE [8]. Средняя абсолютная ошибка рассчитывается как среднее абсолютных разностей между целевыми значениями и значениями, предсказанными моделью на данном обучающем примере в процессе обучения:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m |\gamma_i - \gamma_{ist_i}|, \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^m (\gamma_i - \gamma_{ist_i})^2}, \quad (3)$$

где m – число объектов в обучающей выборке, γ_i – истинное значение, γ_{ist} – предсказанное значение моделью.

Визуализация контроля качества модели представлена на рисунках 4 и 5.

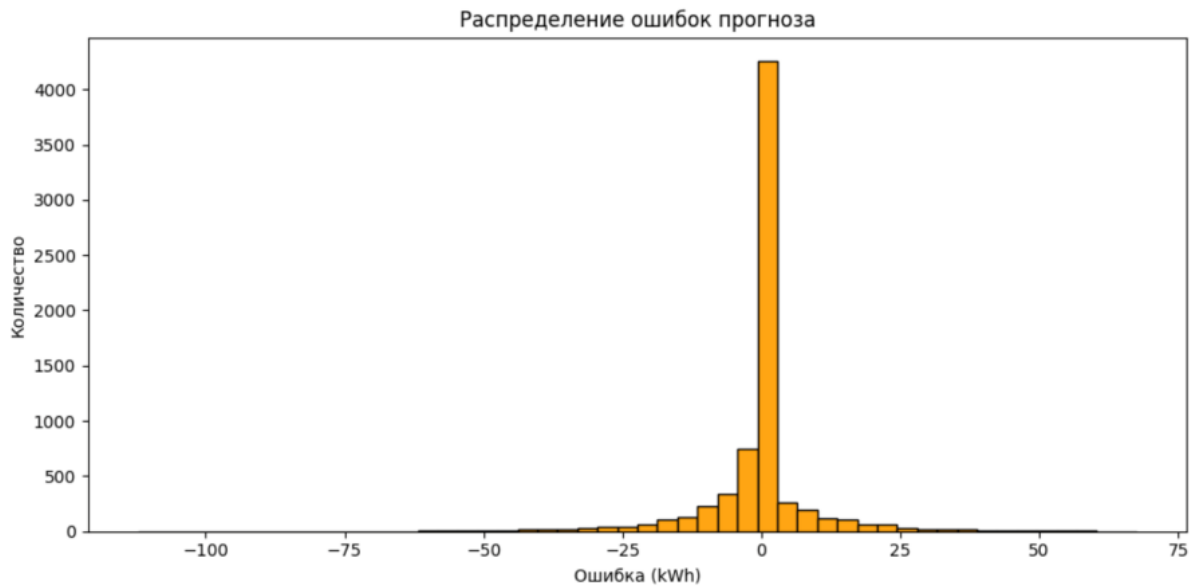


Рис. 4. Распределение ошибок прогнозирования



Рис. 5. Ошибки прогноза энергопотребления по времени

Эти результаты демонстрируют, что модель в целом устойчива, но наиболее значимые ошибки наблюдаются в периоды резких изменений нагрузки.

Для обнаружения нетипичных наблюдений в энергопотреблении применён алгоритм Isolation Forest [9], основанный на случайных деревьях разбиений. Идея метода заключается в том, что аномальные точки легче «изолировать» при случайных разбиениях признаков пространства, чем обычные наблюдения. Фрагмент программного кода представлен ниже:

```
from sklearn.ensemble import IsolationForest

# Инициализация модели Isolation Forest
iso = IsolationForest(contamination=0.01, random_state=42)
data['Anomaly'] = iso.fit_predict(data[['Usage_kWh']])

# Выделение аномальных точек
anomalies = data[data['Anomaly'] == -1]
```

Каждая точка данных оценивается по метрике аномальности $s(x,n)$, которая зависит от средней глубины изоляции точки в ансамбле случайных деревьев (4):

$$s(x, n) = 2^{-\frac{E(h(x))}{c(n)}}, \quad (4)$$

где $h(x)$ – глубина, на которой точка x была изолирована в дереве, $E(h(x))$ – средняя длина пути до изоляции по всем деревьям, $s(n)$ – нормирующий коэффициент для размера выборки n :

$$c(n) = 2H(n-1) - \frac{2(n-1)}{n}, \quad (5)$$

$$H(i) = \sum_{j=1}^i \frac{1}{j}. \quad (6)$$

Точки с $s(x,n)$ близкой к 0 считаются аномальными, а значения около 0.5–1 нормальными.

На рисунке 6 представлены выявленные аномалии, отмеченные красными точками. Анализ показал, что большинство аномалий коррелируют с пиковыми нагрузками и могут свидетельствовать о сбоях в оборудовании или особых технологических режимах, требующих внимания персонала.

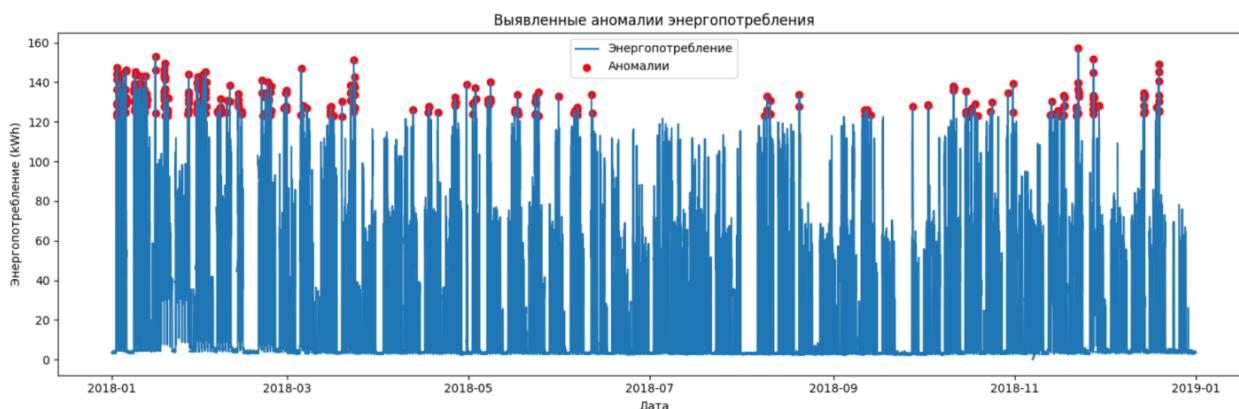


Рис. 6. Выявленные аномалии энергопотребления

Результаты экспериментов

Проведённое исследование показало, что предложенный метод эффективно решает следующие задачи: выделяет характерные режимы энергопотребления, позволяет строить точные прогнозы и выявлять аномалии, коррелирующие с пиковыми нагрузками. Кластеризация режимов дала ясное разделение на низкие, средние и высокие нагрузки. Random Forest обеспечил высокую точность прогноза, подтверждённую визуализацией и расчетом MAE и RMSE. Методы выявления аномалий позволили обнаружить нестандартные точки, потенциально указывающие на сбои оборудования или особые технологические режимы.

Заключение

Предложенный гибридный подход доказал свою эффективность для анализа энергопотребления промышленного предприятия. В результате исследования удалось выделить типовые режимы энергопотребления, что позволяет более точно оценивать текущую нагрузку и прогнозировать пики.

Кроме того, построенная модель обеспечила точный прогноз энергопотребления с идентификацией пиковых нагрузок, что критически важно для оперативного управления и снижения энергетических затрат. Также проведённый анализ позволил выявить аномальные наблюдения, которые коррелируют с пиковыми нагрузками и могут указывать на сбои в работе оборудования или особенности технологических режимов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию разработанного подхода в системы поддержки принятия решений, расширение признаков пространства с учётом технологических параметров производства, а также на применение методов глубокого обучения для повышения точности прогнозирования и более детальной интерпретации выявляемых аномалий.

Список использованных источников

1. Модели вида ARIMA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/3PB2LV> (дата обращения: 12.09.2025).

2. Autoformer. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/3PB3Af> (дата обращения: 12.09.2025).
3. 1. Pop A., et al. Weighted ensemble of Random Forest and Gradient Boosting for short-term energy consumption forecasting // Energy Reports. 2022. Vol. 8. Pp. 1123–1135.
4. Wang J., Li X., Zhang Y. Hybrid anomaly detection in industrial energy consumption using Autoformer-based forecasting // Applied Energy. 2023. Vol. 315. P. 120821.
5. Steel Industry Data. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Steel+Industry+Energy+Consumption> (дата обращения: 04.09.2025).
6. KMeans. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.KMeans.html> (дата обращения: 12.09.2025).
7. Хуснутдинов А. Кластеризация методом K-means. Теория и реализация. С нуля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/868542/> (дата обращения: 12.09.2025).
8. Метрики качества линейных регрессионных моделей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://loginom.ru/blog/quality-metrics> (дата обращения: 12.09.2025).
9. Isolation Forest. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/3PB8MS> (дата обращения: 12.09.2025).

УДК 519.85

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМ С КОНТЕЙНЕРНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИЕЙ

Чудинова А.А. (аспирант, ИТМО)

Научный руководитель: д.т.н., профессор Богатырев В.А. (ИТМО)

e-mail: alexandra.a.chudinova@mail.ru

Оптимизация отказоустойчивых распределенных вычислительных систем представляет собой важнейшую задачу в эпоху растущей сложности облачных архитектур. В этом контексте Kubernetes выступает в качестве эталонной платформы для управления и оркестровки контейнеров, позволяя применять как теоретический, так и экспериментальный подход к изучению отказоустойчивости и вычислительной эффективности. Исследование сосредоточено на анализе критериев устойчивости, балансировки нагрузки и саморегуляции распределенных сервисов, уделяя особое внимание влиянию политик планирования, репликации и восстановления. Методологический подход объединяет контролируемое моделирование и эмпирические примеры для определения конфигураций в условиях изменчивости нагрузки, сбоев и ограниченности ресурсов. Предварительные результаты показывают, что внедрение адаптивных метрик и стратегий динамического резервирования в Kubernetes значительно повышает как надежность, так и общую производительность распределенных систем. Таким образом, исследование предоставляет комплексную основу для проектирования отказоустойчивых инфраструктур, открывая перспективы их применения в критически важных и высоко масштабируемых сценариях.

Ключевые слова: *обработка данных; распределенные компьютерные системы, оптимизация, отказоустойчивость.*

Введение

Развитие облачных архитектур сделало распределенные системы основополагающим компонентом обеспечения доступности, масштабируемости и устойчивости цифровых сервисов. Однако растущая сложность инфраструктур порождает новые проблемы, связанные с отказоустойчивостью и оптимизацией ресурсов [1]. Kubernetes, как широко распространенный оркестратор контейнеров, предоставляет встроенные механизмы управления рабочей нагрузкой, репликации и восстановления, однако эффективность этих механизмов варьируется в зависимости от условий эксплуатации и критериев конфигурации.

Цель данного исследования — проанализировать с помощью экспериментального подхода, как стратегии оптимизации отказоустойчивости могут повысить производительность распределенных систем в Kubernetes. Основной задачей является разработка методологической и практической основы, позволяющей определять отказоустойчивые, адаптивные и высокопроизводительные конфигурации для сложных и критически важных сценариев.

Теоретический анализ состоит в анализе механизмов отказоустойчивости в распределенных системах, по моделям планирования, балансировки нагрузки и репликации в Kubernetes. Изучены алгоритмы динамической избыточности и политики восстановления.

Эксперименты в контролируемой среде реализованы через тестовый кластер Kubernetes, распределенный по гетерогенным узлам, с возможностью моделирования сбоев (сбои модулей, потеря узлов, перегрузка ресурсов). Настроены различные политики репликации (ReplicaSet, StatefulSet) [2] и распределения (по близости и по расстоянию).

Метрики и сбор данных реализуются через отслеживание основных параметров: доступность сервиса, среднее время восстановления, задержка запроса и использование ресурсов. Данные собирались с помощью Prometheus и Grafana, после чего проводилась статистическая обработка.

Оптимизация отказоустойчивых распределенных вычислительных систем, особенно с точки зрения платформы Kubernetes, требует предварительного теоретического рассмотрения, которое не может игнорировать исторические и концептуальные парадигмы, направлявшие развитие распределенных вычислений. В настоящее время в принято считать, что отказоустойчивость — это не второстепенное дополнение к распределенным архитектурам, а структурный принцип, определяющий их сущность. Другими словами, обсуждение

распределенных систем без рассмотрения вопроса устойчивости равносильно игнорированию самой основы их технологического обоснования.

Применение концепций отказоустойчивости в контейнеризированных средах, таких как Kubernetes, лишь воспроизводит в рамках новой технологической платформы принципы, разработанные в 1960-х и 1970-х годах в контексте распределенных систем первого поколения [3]. В этом смысле инновационным элементом является не столько принцип отказоустойчивости, сколько его динамическая и автоматизированная реализация в рамках крупномасштабных оркестрированных инфраструктур.

Следует помнить, что каждая распределенная система ограничена так называемыми фундаментальными теоремами, включая теорему о согласованности, доступности и устойчивости к разделению (CAP). Это, казалось бы, простое утверждение подразумевает, что ни одна распределенная система не может одновременно полностью удовлетворить всем трем требованиям. Kubernetes, со своей стороны, придерживается прагматического подхода, предлагая механизмы планирования и оркестровки, которые стремятся к динамическому балансу между доступностью и согласованностью, уделяя особое внимание управлению разделами сети [4]. Следовательно, теоретический анализ отказоустойчивой оптимизации не может игнорировать эту внутреннюю диалектику, которая обуславливает любую возможную стратегию конфигурации.

Второй момент теоретического размышления касается теории сложных адаптивных систем, в которых распределенные инфраструктуры ассимилируются в динамические экосистемы, состоящие из автономных, но взаимосвязанных единиц, которые взаимодействуют друг с другом, порождая эмерджентное поведение. С этой точки зрения Kubernetes можно интерпретировать как «метасистему», которая устанавливает правила адаптации и самоорганизации, снижая общую энтропию системы. Однако теоретическая проблема остаётся: каждый механизм саморегуляции неизбежно вносит вычислительные и коммуникационные затраты, которые необходимо сопоставлять с преимуществами, получаемыми от достигаемой устойчивости [5].

Дополнительный теоретический уровень обеспечивает теория очередей и планирования, которая предоставляет математическую основу для оценки распределения рабочей нагрузки и времени отклика в условиях сбоя [6]. В случае Kubernetes возможность моделирования поведения модулей и узлов как сущностей, ожидающих ресурсы, позволяет применять известные аналитические инструменты теории массового обслуживания. Эти модели дают фундаментальное понимание того, как динамическая репликация или политики близости/расстояния могут сократить среднее время ожидания и повысить общую стабильность [7]. С теоретической точки зрения нельзя игнорировать эпистемологический аспект отказоустойчивости: распределённая система никогда не застрахована от отказов и сбоев полностью, а стремится отсрочить, смягчить и ограничить их последствия [8]. Это наблюдение, которое может показаться тривиальным, на самом деле лежит в основе проблемы: оптимизация никогда не бывает однозначной, а представляет собой итеративный и асимптотический процесс, в котором улучшение всегда зависит от условий эксплуатации и внешних ограничений. Kubernetes как платформа не устраняет проблему, а делает её управляемой благодаря набору абстракций, позволяющих применять известные теории в динамических и изменяющихся контекстах.

Анализ отказоустойчивых распределенных систем в Kubernetes не сводится к техническому описанию функциональности платформы, а должен пониматься как многоуровневое размышление, включающее исторические парадигмы отказоустойчивости, логические ограничения теоремы CAP, математические модели теории очередей и эпистемологические последствия устойчивости как бесконечного процесса. Только поместив практический эксперимент в эти теоретические рамки, можно в полной мере оценить его масштабы и ограничения.

Экспериментальное исследование

Для эмпирической оценки создан тестовый кластер Kubernetes, состоящий из шести разнородных узлов:

- 3 главных узла (2 ЦП, 8 ГБ ОЗУ каждый, архитектура x86_64);
- 3 рабочих узла (1 высокопроизводительный узел: 8 ЦП, 32 ГБ ОЗУ;
- 2 узла с низким потреблением ресурсов: 2 ЦП, 4 ГБ ОЗУ).

Кластер настроен с использованием обновлённых версий Kubernetes v1.30 и среды выполнения containerd. Система мониторинга реализована с использованием Prometheus и Grafana, а для генерации нагрузки и моделирования отказов использовались такие инструменты, как Chaos Mesh и k6.

Введены три основных сценария отказов:

1. Авария модуля (принудительное завершение работы критически важных контейнеров).
2. Потеря узла (имитация отключения рабочих процессов с ограниченными ресурсами).
3. Перегрузка ресурсов (искусственная перегрузка ЦП/памяти).

Протестированные политики репликации и распределения включают:

- ReplicaSet со статическими конфигурациями из 3 и 5 реплик;
- StatefulSet с постоянным управлением состоянием и политиками инкрементального восстановления [9];
- распределение по близости, то есть размещение модулей на соседних узлах для уменьшения задержки;
- распределение по расстоянию, размещение модулей на разных узлах для повышения устойчивости.

Таблица 1. Среднее время восстановления после сбоев модуля

Политика	Реплика	Среднее время восстановления (с)	Изменение по сравнению с исходным уровнем (%)
ReplicaSet	3	12,4	—
StatefulSet	5	9,1	-26,6%
Распределение по близости	3	15,8	+27,4%
Распределение по расстоянию	5	12,2	-1,6%

Данные в таблице 1 демонстрируют, что конфигурации с несколькими репликами улучшают среднее время восстановления, однако StatefulSets приводят к большим накладным расходам на управление состоянием.

Использование на расстоянии значительно снижает последствия потери одного узла, особенно если это высокопроизводительный узел (табл. 2 и 3).

Таблица 2. Последствия потери узла

Политика	Неисправный узел	% снижения доступности услуг	Среднее время восстановления (с)
Близость	Работник с низкими ресурсами	-34%	18,5
По расстоянию	Работник с низкими ресурсами	-12%	10,7
Близость	Работник с высокими ресурсами	-61%	25,9
По расстоянию	Работник с высокими ресурсами	-29%	15,2

Автоматическое масштабирование (HPA) значительно повышает устойчивость кластера в условиях нагрузки. Статические StatefulSet-ы более уязвимы к перегрузке.

Основные результаты, исходя из анализа данных:

- динамические конфигурации ReplicaSet с автоматическим масштабированием обеспечивают наилучшее время восстановления и сокращают количество сбоев под нагрузкой;
- политика на расстоянии критически важна для устойчивости к потере узлов;
- конфигурации StatefulSet, обеспечивая персистентность, приводят к накладным расходам на восстановление и более чувствительны к стрессовым ситуациям

Таблица 3. Эффекты перегрузки ресурсов (стресс-тест ЦП/памяти)

Конфигурация	Загрузка ЦП (%)	Загрузка ОЗУ (%)	Средняя задержка (мс)	Ошибки (%)
ReplicaSet статика	80	70	220	7,5
ReplicaSet динамика (HPA)	80	70	135	2,3
StatefulSet статика	80	70	310	9,8
StatefulSet с дистрибуцией pod (по расстоянию)	80	70	190	3,6

Метрики и сбор данных

Мониторинг экспериментального кластера Kubernetes реализован посредством интеграции Prometheus (для сбора и хранения метрик) и Grafana (для визуализации и анализа в реальном времени). Собранные данные охватывали основные показатели устойчивости и производительности системы:

- доступность сервиса (% безотказной работы) измерялась как отношение общего времени, в течение которого модули правильно реагировали на запросы, к общему времени наблюдения (табл. 4);
- среднее время восстановления (MTTR) рассчитывалось как средний интервал времени между возникновением сбоя (сбой модуля, потеря узла, перегрузка) и полным восстановлением функциональности (табл. 5);
- средняя задержка запроса (мс) измерялась как среднее время ответа на моделируемые HTTP-запросы при постоянной нагрузке (табл. 6);
- использование ресурсов (ЦП и ОЗУ) отслеживалось для каждого узла и агрегировалось на уровне кластера для оценки степени насыщения и распределения нагрузки (табл. 7).

Метрики собирались с 5-секундным интервалом выборки в течение 72 часов для каждого эксперимента. Затем необработанные данные экспортировались из Prometheus и подвергались статистической обработке с использованием Python (библиотеки Pandas, NumPy и SciPy).

Таблица 4. Доступность сервиса (%)

Конфигурация	Сценарий аварийной капсулы	Сценарий потери узла	Перегруженный сценарий
Статика ReplicaSet (3 реплики)	96,8	91,2	87,5
ReplicaSet с HPA (динамический)	99,1	95,4	94,3
StatefulSet	95,3	89,7	85,2
StatefulSet + по расстоянию	97,8	93,9	91,0

Таблица 5. Среднее время восстановления (MTTR, в секундах)

Конфигурация	Сбой модуля	Потеря узла	Перегрузка
Статика ReplicaSet (3 реплики)	12,4	18,5	21,3
ReplicaSet с HPA (динамический)	9,1	10,7	13,2
StatefulSet	15,8	25,9	28,4
StatefulSet + по расстоянию	12,2	15,2	18,9

Таблица 6. Средняя задержка запроса (мс)

Конфигурация	Нормальная задержка	Задержка при имитации сбоя
Статика ReplicaSet (3 реплики)	105	220
ReplicaSet с HPA (динамический)	95	135
StatefulSet	130	310
StatefulSet + по расстоянию	110	190

Таблица 7. Среднее использование ресурсов (агрегированный кластер)

Конфигурация	CPU (%)	RAM (%)
Статика ReplicaSet (3 реплики)	72	68
ReplicaSet с HPA (динамический)	65	61
StatefulSet	78	74
StatefulSet + по расстоянию	70	66

Результаты

Статистическая обработка выявила несколько важных тенденций:

1. Динамические конфигурации с HPA обеспечили наилучшую среднюю доступность сервиса и задержку под нагрузкой, со статистически значимыми различиями по сравнению со статическими ReplicaSets ($p < 0,05$, t-критерий Стьюдента).
2. StatefulSets, обеспечивая согласованность состояния, показали более высокое среднее время восстановления и задержку, что подтверждает накладные расходы, связанные с постоянным управлением состоянием.
3. Сочетание StatefulSets и распределения по расстоянию частично смягчило негативные эффекты, сократив среднее время восстановления (MTTR) и повысив доступность по сравнению со стандартными StatefulSets.
4. Анализ ресурсов показал, что конфигурации с HPA в среднем потребляли меньше ресурсов ЦП и оперативной памяти благодаря динамической адаптации количества реплик.

Выводы

Проведенный анализ, основанный на экспериментальном подходе, подтвердил, что оптимизация отказоустойчивости в распределенных системах, организованных с помощью Kubernetes, важен, в первую очередь, для обеспечения надежности и производительности в сложных и критически важных сценариях.

С теоретической точки зрения, фреймворк в рамках классических парадигм отказоустойчивости (репликация, восстановление, изоляция отказов) в сочетании с ограничениями, налагаемыми теоремой CAP и моделями планирования и организации очередей, доказывает, что устойчивость не может считаться абсолютной целью, а скорее результатом динамического баланса между доступностью, согласованностью и эффективным использованием ресурсов.

Экспериментальные данные, собранные с помощью Prometheus и Grafana, показали, что динамические конфигурации ReplicaSet с HPA обеспечивают сокращение времени восстановления, меньшую задержку под нагрузкой и более высокую доступность по сравнению со статическими ReplicaSet и, что политики по расстоянию оказались крайне важны для снижения влияния потери узлов и повышения общей устойчивости кластера; StatefulSets, обеспечивая согласованность и персистентность, вносили значительные накладные расходы с точки зрения среднего времени восстановления и задержки, хотя это частично компенсировано внедрением расширенных политик распределения.

В целом, исследование показывает, что стратегии адаптивной репликации, распределение с учётом pod-aware и проактивный мониторинг обеспечивают прочную методологическую основу для определения отказоустойчивых, адаптивных и высокопроизводительных конфигураций. Эти стратегии при правильной интеграции могут решать сценарии, характеризующиеся изменчивостью нагрузки, непредвиденными сбоями и ограничениями ресурсов, минимизируя влияние на конечный сервис.

В перспективе распространение этого подхода на многокластерные и периферийные облачные среды, где сложность ещё больше возрастает, а оптимизация отказоустойчивости становится высоки значимой для непрерывности особо важных цифровых сервисов.

Список использованных источников

1. Богатырев В.А. Оптимизация резервированного распределения запросов в кластерных системах реального времени. // Информационные технологии. 2015. Т. 21. №. 7. С. 495–502.
2. Tian H.D., Jiang J. Optimizing Stateful Microservice Migration in Kubernetes with MS2M and Forensic Checkpointing. // 28th Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks (ICIN 2025). 2025. Pp. 1–8.
3. Aydin M., Bidollahkhani M., Kunke J.M. Comparing Fault-tolerance in Kubernetes and Slurm in HPC Infrastructure. // The Eighteenth International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences. 2024. Pp. 40–48.
4. Zhang P., Xiang L., Song Z., Yang Y. Adaptive load balancing and fault-tolerant microservices architecture for high-availability web systems using docker and spring cloud. // Discover Applied Sciences. 2025. №. 7:705. P. 29.
5. Sari A., Akkaya M. Fault Tolerance Mechanisms in Distributed Systems. — International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2015. №. 8. Pp. 471–482.
6. Фунг В.К., Богатырев В.А., Кармановский В.С., Лэ В.Х. Оценка вероятностно-временных характеристик компьютерной системы с контейнерной виртуализацией. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24 № 2. С. 249–255.
7. Guerraoui R., Schiper A. Fault-Tolerance by Replication in Distributed Systems. // Ada-Europe International Conference on Reliable Software Technologies. 1996. P. 21.
8. Trần M-N., Xuan Tuong V.U., Youngkhan K. Proactive Stateful Fault-Tolerant System for Kubernetes Containerized Services. IEEE Access. 2022. P. 15.
9. Huang Z., Huang H. Proactive Failure Recovery for Stateful NFV // 26th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS). Hong Kong. 2020. Pp. 536–543.

УДК 004.67

ПРОГНОЗ ЧИСЛЕННОСТИ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ХАНТЫ-МАНСКИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ НА ПЕРИОД 2020–2025 ГГ.

Чудинова М.А. (студент, РТУ МИРЭА)

Научный руководитель: старший преподаватель, Трушин С.М. (РТУ МИРЭА)

e-mail: chudinova-olimp@yandex.ru

В статье рассматривается прогноз численности некоммерческих организаций в ХМАО – Югре на 2020–2025 гг. Используются методы: линейная регрессия, логарифмически-экспоненциальная модель и экспоненциальное сглаживание в комплексе Logitot. Проведено сравнение прогнозов с фактическими данными, выявлены сильные и слабые стороны подходов. Сделан вывод о целесообразности комбинирования моделей для повышения точности и практической значимости анализа развития сектора.

Ключевые слова: *некоммерческие организации, прогнозирование, регрессия, экспоненциальное сглаживание, социальная статистика, Logitot, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.*

Некоммерческие организации (НКО) играют значимую роль в социально-экономическом развитии регионов Российской Федерации. Они способствуют решению общественно важных задач, развитию гражданского общества, реализации социальных инициатив. Для органов государственной власти и местного самоуправления важным является понимание динамики численности НКО, что позволяет корректировать меры поддержки и формировать эффективные программы развития.

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО – Югра) является одним из лидеров по количеству зарегистрированных НКО в стране [1]. Данные об их численности регулярно публикуются в официальных отчётах Правительства региона, на специализированных ресурсах, а также в реестре НКО на сайте Министерства юстиции Российской Федерации [2]. Однако сами по себе статистические сведения отражают лишь текущее состояние и не дают представления о будущих тенденциях.

В связи с этим актуальной задачей является прогнозирование численности НКО в регионе. Построение прогноза позволяет выявить возможные траектории развития сектора и оценить влияние внешних факторов, включая экономическую ситуацию и изменения в законодательстве. Цель настоящей работы заключается в выявлении точности методов регрессионного анализа на основе прогноза численности НКО в Югре на период 2020–2025 годов.

Прогноз численности некоммерческих организаций были выбраны три подхода: линейная регрессия, логарифмически-экспоненциальная модель и метод экспоненциального сглаживания. Данные методы различаются по уровню сложности, чувствительности к изменениям исходных данных и точности получаемых результатов.

Линейная регрессия применяется для выявления и описания линейной зависимости между временем и численностью организаций. Модель проста в реализации и обладает высокой интерпретируемостью, однако её использование ограничено в случаях, когда процесс носит нелинейный характер или подвержен влиянию внешних факторов.

Логарифмически-экспоненциальная модель основана на использовании логарифмические преобразования исходных данных для определения начального уровня и скорости роста. Данный метод хорошо подходит для описания ситуаций, где количество организаций растёт всё быстрее, обеспечивая плавные и правдоподобные прогнозы. Среди его преимуществ — способность учитывать долгосрочные тенденции, однако он менее гибок при резких изменениях и требует достаточно большого объёма данных для точного результата.

Метод экспоненциального сглаживания ориентирован на прогнозирование временных рядов, в которых значение будущих показателей зависит от сглаженной комбинации прошлых наблюдений. Его преимущество заключается в способности учитывать недавние изменения и реагировать на тренды, что особенно важно в условиях динамичной социальной среды.

Реализация указанных моделей осуществлялась на языке программирования Python в аналитическом комплексе Loginom, интерфейс сценария представлен на рисунке 1.

В качестве исходных данных, представлены на рисунке 2, использовались сведения о численности НКО за 2000–2019 годы из официальных отчётов Правительства региона, а также актуальная статистика за последние 5 лет [4, 5].

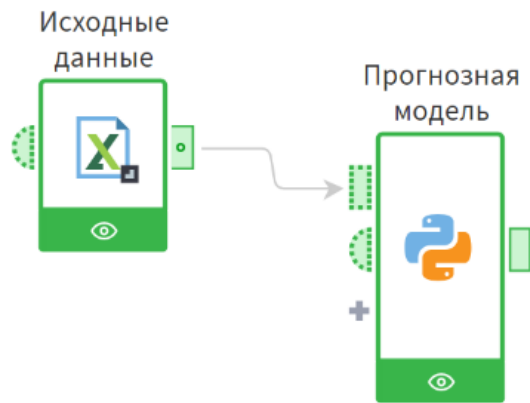


Рис. 1. Скриншот используемого сценария в ПО Loginom

#	12 год №1	98 количество зарегистрированных нко в хмао- югре
1	2000	300
2	2001	350
3	2002	400
4	2003	550
5	2004	718
6	2005	793
7	2006	873
8	2007	996
9	2008	1052
10	2009	1131
11	2010	1271
12	2011	1545
13	2012	1917
14	2013	1943
15	2014	2019
16	2015	2027
17	2016	2069
18	2017	2078
19	2018	2243
20	2019	2273

Рис. 2. Скриншот таблицы исходных данных для обучения моделей в среде Loginom

Для каждой модели были построены прогнозные значения и графические визуализации, представлены на рисунке 3, а также рассчитано процентное соответствие фактическим данным, источником которых выступил портал поддержки некоммерческого сектора Югры [3].

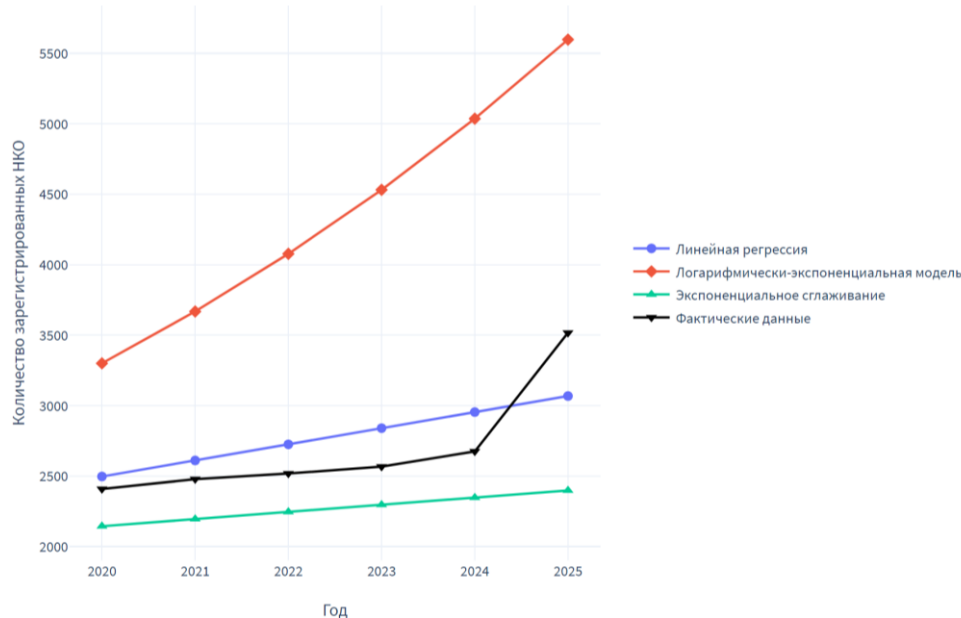


Рис. 3. Результаты прогнозирования числа НКО на 2020-2025 гг. и фактические данные

Визуализация в Loginom позволила получить наглядные графики прогнозов, отражающие различия между подходами. Линейная регрессия выявила устойчивый рост числа НКО, но с низкой чувствительностью к колебаниям; логарифмически-экспоненциальная модель точнее отразила динамику, а экспоненциальное сглаживание дало сбалансированные

результаты. Сравнение с фактическими данными показало наименьшее отклонение у линейной модели, что подтверждает целесообразность комбинирования методов и выбора наиболее устойчивого подхода.

Сравнение фактических и расчетных показателей вместе со средним процентом соответствия представлено в таблице.

Таблица. **Сравнительные данные результатов прогноза моделей**

	Линейная регрессия	Логарифмически- экспоненциальная модель	Экспоненциальное сглаживание	Фактические данные
2020	2497	3300	2144	2408
2021	2611	3668	2195	2478
2022	2725	4077	2246	2518
2023	2840	4531	2296	2567
2024	2954	5036	2347	2675
2025	3068	5597	2398	3517
Процент совпадения	91,57	38,18	85,63	—

Сравнительный анализ эффективности трех примененных моделей выявил их индивидуальные особенности и ограничения. Линейная регрессия демонстрирует простоту интерпретации и быструю оценку общих тенденций (средняя точность 91,57%), однако не учитывает возможные нелинейные колебания в динамике численности организаций. Логарифмически-экспоненциальная модель проявляет гибкость при адаптации к криволинейному характеру временного ряда, но при высоких значениях склонна к переобучению, что приводит к значительным завышениям прогнозов, особенно в 2024–2025 гг.

Важно отметить, что прогнозирование численности зарегистрированных некоммерческих организаций на территории региона зависит не только от статистической динамики, но и от ряда внешних факторов. Существенное влияние оказывают изменения в законодательстве социальной сферы, объёмы государственной поддержки, региональные социальные программы и экономическая ситуация в целом. Без учёта этих факторов прогноз носит ограниченный характер и требует дополнительного уточнения.

Программный комплекс Loginom показал эффективность в решении подобных задач, благодаря встроенной визуализации и поддержке Python удалось быстро сравнить разные подходы и определить наиболее результативный. В исследовании выполнен прогноз численности НКО в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре на 2020–2025 гг. с использованием линейной регрессии, логарифмически-экспоненциальной модели и экспоненциального сглаживания. Результаты подтвердили, что комбинирование моделей обеспечивает более объективную оценку динамики и различий в прогнозах.

Таким образом, использование сочетания различных методов прогнозирования в комплексе с современными аналитическими инструментами, такими как Loginom, позволяет получать более надёжные результаты. Для дальнейшего повышения качества прогнозов целесообразно расширить набор исходных данных, включая сведения о социально-экономических показателях, государственной поддержке НКО и нормативно-правовых изменениях. Это позволит строить более комплексные модели и глубже анализировать тенденции развития некоммерческого сектора в регионе.

Список использованных источников

1. Сидорова О. Заседание Общественной палаты Югры: доклад заместителя председателя Общественной палаты Югры, члена Общественной палаты РФ Ольги Сидоровой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ophmao.ru/novosti/main/8716396/> (дата обращения: 15.09.2025).
2. Реестр некоммерческих организаций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minjust.gov.ru/ru/pages/reestr-nekommercheskih-organizacij/> (дата обращения: 13.09.2025).
3. Портал развития некоммерческого сектора Югры. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elkanko.ru/> (дата обращения: 11.09.2025).

4. Постановление Думы Ханты-Мансийского автономного округа - Югры от 24 апреля 2025 года № 1417 "Об отчете о результатах деятельности Правительства ХМАО-Югры за 2024 год, в том числе по вопросам, поставленным Думой ХМАО-Югры". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://depsr.admhmao.ru/nezavisimaya-otsenka-kachestva-raboty-organizatsiy-okazyvayushchikh-uslugi/publichnye-otchety-gubernatora-khanty-mansiyskogo-avtonomnog/postanovleniya-dumy-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga-yu/11228189/postanovlenie-dumy-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga-yug/> (дата обращения: 12.09.2025).
5. Распоряжение Правительства ХМАО - Югры от 07.11.2020 N 636-рп "Об отчете Губернатора Ханты-Мансийского автономного округа - Югры о результатах деятельности Правительства Ханты-Мансийского автономного округа - Югры за 2020 год, в том числе по вопросам, поставленным Думой ХМАО - Югры". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://admhmao.ru/documents/proekty-pravitelstva/83671/docs/83694/4831511/> (дата обращения: 12.09.2025).

УДК 622.276.66

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ МЕЖДУ СКВАЖИНАМИ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ямкин М.А. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: ассистент Авдюшина А.Е. (ИТМО)

e-mail: makson.yamkin@mail.ru

В современной нефтегазовой промышленности управление месторождениями с множеством скважин представляет собой сложную задачу, требующую глубокого понимания гидродинамических процессов, происходящих в пласте. Одним из ключевых аспектов эффективного управления является определение степени взаимовлияния между добывающими и нагнетательными скважинами. С помощью коэффициентов взаимовлияния между скважинами возможно оптимизировать режимы эксплуатации, повысить нефтеотдачу и минимизировать негативные последствия различных технологических воздействий. В данной работе рассматриваются существующие подходы к определению коэффициентов взаимовлияния: их преимущества и ограничения, а также обосновывается необходимость поиска более совершенных методов анализа взаимосвязей в системе скважин с помощью графовых нейронных сетей.

Ключевые слова: *графовые нейронные сети, разработка месторождения, статистические методы, трассерные исследования.*

Актуальность работы связана с тем, что при проведении операций по увеличению нефтеотдачи необходимо знать, какое влияние они окажут на добычу со всего месторождения в целом, а не с одной скважины, на которой проводится мероприятие. При этом в настоящее время отсутствует точный, быстродействующий и недорогостоящий метод для поиска взаимовлияния между скважинами. Поскольку задача поиска взаимовлияния между скважинами является актуальной, авторы решили ее при помощи графовых нейронных сетей.

Существует несколько проблем, к которым может привести отсутствие данных о взаимовлиянии между скважинами:

1. Экономический аспект проблемы заключается в том, что неправильная оценка взаимовлияния скважин может привести к значительным финансовым потерям. Например, проведение геолого-технических мероприятий на одной скважине без учета ее влияния на соседние может вызвать снижение добычи на других скважинах, что непосредственно отразится на общей добыче и прибыли компании. По оценкам отраслевых экспертов, потери от неоптимального управления системой скважин могут составлять до 15–20% от потенциальной добычи [1].
2. Экологические соображения также играют важную роль. В некоторых случаях непредвиденное гидродинамическое взаимодействие скважин может спровоцировать нарушение целостности скважин, из-за чего возникают утечки химикатов в пласт и смешивание их с подземными водами, что приводит к загрязнению вод.
3. С технологической точки зрения, с ростом числа скважин на месторождении и усложнением систем разработки (включая горизонтальные скважины, многозбойные конструкции и сложные системы заводнения), традиционные методы анализа становятся все менее эффективными и более сложными с точки зрения интерпретации. На современных месторождениях пробурено сотни скважин. Анализ взаимовлияния между таким большим количеством скважин требует сложных вычислений и высокой квалификации инженеров нефтегазовой отрасли.

В начале анализировались текущие методы определения коэффициентов взаимовлияния между скважинами для определения того, каким образом на данный момент решается поставленная проблема. Ниже приведены существующие методы определения взаимовлияния скважин, их преимущества и недостатки:

1. Трассерные исследования. Данный метод определения взаимосвязи между скважинами подробно описан в работе [1]. Суть трассерных исследований заключается в закачке в нагнетательные скважины жидкости с индикаторами. Индикаторы при помощи

фильтрационных потоков доносятся в добывающие скважины, после чего анализируется взаимосвязь добывающих и нагнетательных скважин.

К преимуществам данного метода можно отнести:

- возможность получения информации о скорости движения жидкости в пласте и направлениях потоков (дополнительные данные для других расчетов);
- относительно высокая точность определения основных связей между скважинами;
- возможность применения в осложненных геологических условиях.

К недостаткам данного метода можно отнести:

- высокая стоимость исследований;
- невозможность оперативного получения информации для принятия решений по управлению разработкой месторождения вследствие значительной продолжительности процесса исследования (от нескольких месяцев до года);
- сложности в интерпретации результатов при большом количестве скважин на месторождении или при высокой неоднородности пласта.

2. Гидропрослушивание. Данный метод определения взаимосвязи между добывающими и нагнетательными скважинами подробно описан в работе [2]. Суть гидропрослушивания заключается в регистрации изменения давления на скважинах при изменении режима работы других скважин.

К преимуществам данного метода можно отнести:

- более короткий временной интервал получения данных по сравнению с трассерными исследованиями;
- широкая применимость на различных типах месторождений (применим в условиях неоднородности коллекторов).

К недостаткам данного метода можно отнести:

- высокая сложность интерпретации полученных данных;
- необходимость временного отключения скважин, что приводит к потерям добычи.

3. Статистические методы. Данные методы подробно описаны в работах [3, 4]. Суть статистических методов заключается в применении гидродинамического моделирования и оценки взаимовлияния между скважинами при помощи анализа промысловых данных.

К преимуществам данного метода можно отнести:

- использование уже имеющихся промысловых данных;
- относительно низкая стоимость реализации, так как отсутствует необходимость проведения скважинных исследований;
- возможность оперативного пересчета коэффициентов взаимовлияния при изменении условий.

К недостаткам данного метода можно отнести:

- высокая вариабельность точности (от 3% до 50% погрешности);
- необходимость соблюдения ряда упрощающих допущений (например, неизменность системы разработки, необходимо знать точные значения пластового давления на всех скважинах);
- зависимость от качества и полноты промысловых данных;
- сложность учета временных зависимостей и динамических процессов.

4. Методы на основе нейронных сетей. В последние годы активно развиваются подходы, использующие нейронные сети для анализа взаимовлияния скважин. Эти методы основаны на обучении моделей на исторических данных с целью выявления скрытых зависимостей [4].

К преимуществам данного метода можно отнести:

- возможность обработки больших объемов данных;
- способность выявлять сложные нелинейные зависимости и учитывать временную динамику в разработке месторождения.

К недостаткам данного метода можно отнести:

- зависимость от качества и полноты входных данных;
- необходимость значительных вычислительных ресурсов.

Перспективным направлением представляется применение графовых нейронных сетей, которые моделируют отношения между скважинами в виде графа (рисунок). В графе скважины представлены в виде вершин, а ребрами являются коэффициенты взаимовлияния между скважинами. На рисунке синими кругами обозначены скважины, они ребра являются взаимосвязями, число на ребре является расстоянием между скважинами, в поле «embedding» приведены признаки, выбранные для обучения модели.

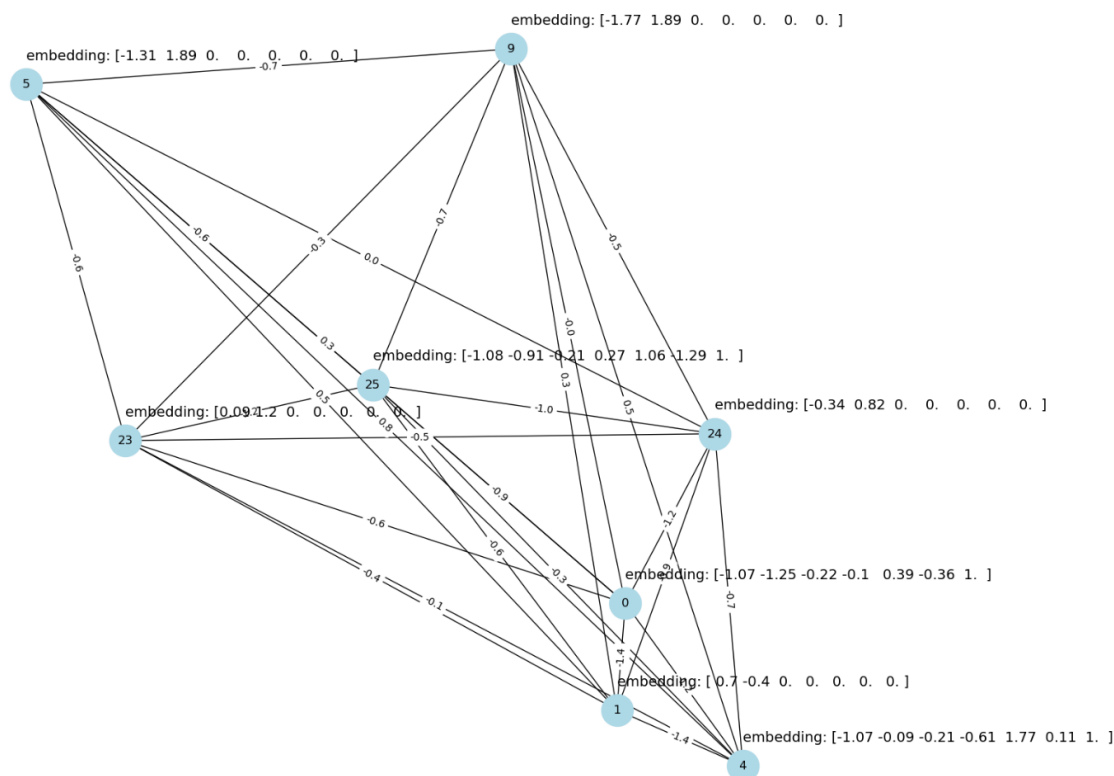


Рисунок. Представление в виде графа месторождения нефти и газа

Графовые нейронные сети способны эффективно обрабатывать данные и выявлять сложные зависимости между элементами системы. Также некоторые графовые нейронные сети могут обрабатывать последовательности графов, соответствующих состоянию месторождения в разные моменты времени, что позволяет анализировать динамику разработки месторождения.

Кроме того, одним из основных преимуществ предлагаемого подхода является возможность проведения интерпретации полученных результатов. Поскольку, исходя из теории графовых нейронных сетей, веса нейронной сети показывают взаимовлияние между вершинами графа, то веса в ребрах и будут являться коэффициентами взаимовлияния между скважинами.

Таким образом, использование графовых нейронных сетей для прогнозирования взаимовлияния скважин является перспективным решением этой задачи. Их использование позволит повысить эффективность разработки месторождений, оптимизировать проведение геолого-технических мероприятий и в конечном итоге увеличить коэффициент извлечения нефти при снижении операционных затрат.

Список использованных источников

1. Распоров А.В., Прокушева С.А. Изучение гидродинамических связей силурийских залежей Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции методом трассерных исследований // Нефтяная провинция. 2022. №. 4(32). С. 65–78.
2. Гумерова А.А., Малышев В., Моисеева Е.Ф. Анализ результатов гидропрослушивания пласта ЮС2 Вишневого нефтяного месторождения // Известия Томского Политехнического Университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. №. 6. С. 167–177.
3. Романенков А.В., Евдошук П.А. Определение коэффициентов взаимовлияния скважин на основе уравнения материального баланса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. №. 2-2. С. 79–84.

4. Хасанов М.М., Бахитов Р.Р., Лакман И.А., Манапов Т.Ф. Методика количественной оценки взаимовлияния скважин с учетом отсроченного эффекта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ntc.gazprom-neft.ru/scientific-publications/14323/> (дата обращения: 04.02.2025).
5. Sun L., Liu M., Liu G., Chen X., Yu X. FD-TGCN: Fast and dynamic temporal graph convolution network for traffic flow prediction. Information Fusion. 2024. Vol. 106. P. 102291.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ

УДК 004.825

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОКАДРОВ

Ветров М.А. (студент, УрФУ)

Научный руководитель: к.т.н., доцент Волынский М.А. (ИТМО)

e-mail: maxvetrov2004@yandex.ru

В данной статье рассматриваются методы идентификации паттернов поведения лабораторных крыс на основе анализа последовательности видеок кадров. Исследование включает разработку алгоритмов классификации, использующих фильтр Калмана, медианный фильтр и метод Random Forest для анализа ключевых точек и ограничивающих прямоугольников. Результаты могут быть применены для автоматизации мониторинга поведения крыс и в дальнейшем для наблюдения за пациентами в больницах в реальном времени.

Ключевые слова: идентификация паттернов поведения, лабораторные крысы, анализ видеок кадров, ключевые точки, ограничивающий прямоугольник, фильтр Калмана, классификация поведения, Random Forest, медианный фильтр, усреднение результатов, автоматизация мониторинга.

Целью данного исследования является разработка и тестирование методов идентификации паттернов поведения лабораторных крыс на основе анализа видеок кадров. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи: сбор и подготовка данных, разработка алгоритмов классификации, а также их анализ и оптимизация. На этапе сбора данных требуется провести разметку видеок кадров для выделения координат *ограничивающего* прямоугольника [1], который представляет собой область, очерчивающую границы объекта и указывающую его местоположение и размер. Также необходимо определить координаты *ключевых точек* [2], которые являются стратегически важными областями на теле крысы, такими как суставы и конечности. Анализ движения этих точек позволяет выявить характерные паттерны поведения [1], повторяющиеся движения или специфические позы. Таким образом, использование ключевых точек для классификации паттернов поведения [1] может автоматизировать мониторинг состояния объектов.

Постановка задачи и алгоритмы, рассматриваемые в статье, были разработаны в рамках стажировки в Научно-образовательной лаборатории «Техническое зрение» Университета ИТМО. Результаты исследования в дальнейшем будут использоваться для работы над выявлением паттернов поведения пациентов в больнице, что позволит в реальном времени, без участия врачей, наблюдать за пациентами.

Подготовка данных

На этапе подготовки была выполнена разметка данных [2]. Разметка данных представляет собой процесс аннотирования кадров на видео с целью выделения ключевых объектов или областей интереса. Этот процесс является критически важным для подготовки данных к исследованию, так как качественно размеченные данные позволяют значительно повысить точность и надежность алгоритмов компьютерного зрения. Система использует одну видеок камеру, установленную в верхней части террариума. Камера снимает в секунду 30 кадров. Каждый видеок кадр имеет размер 1280x720 пикселей.

Существует два основных подхода к разметке данных: автоматизированный и ручной. Автоматическая разметка использует алгоритмы для выделения объектов на изображениях или видео, что позволяет обрабатывать большие объёмы данных за короткое время. Однако такой подход не всегда обеспечивает такие же качественные результаты, как ручная разметка.

Ручная разметка, выполняемая человеком, позволяет достичь высокой точности и качества аннотаций. В рамках исследования разметка части данных была выполнена вручную с использованием инструмента CVAT (Computer Vision Annotation Tool) [4], который был запущен из Docker-контейнера на операционной системе Linux. CVAT – это открытая

платформа для аннотирования изображений и видео, предоставляющая широкий набор инструментов для создания точных разметок. С помощью CVAT было размечено видео, состоящее из 506 кадров.

Ручная разметка позволяет получить более точные данные по сравнению с автоматической, однако она требует значительных временных затрат и участия человека. Это делает её менее подходящей для разметки больших объёмов данных и систем мониторинга в реальном времени. В связи с этим остальные данные, использованные для тестирования алгоритма, были размечены автоматически. Это позволило сократить время, затрачиваемое на разметку, и адаптировать алгоритм к реальным данным.

Для удобства размеченные данные были разделены на наборы данных по категориям: ходит (*rearing*), сидит (*sitting*), встаёт на задние лапы (*stands on its hind legs*), умывается (*grooming*). Тестирование алгоритмов на различных наборах данных позволило более эффективно адаптировать классификатор к различным паттернам поведения крыс.

Постановка задачи

Введем следующие понятия и определения.

Назовем *ключевыми точками* стратегически важные области на теле объекта, такие как суставы и конечности, которые позволяют отслеживать движения и позы объекта [1].

Ограничивающим прямоугольником будем называть область, очерчивающую границы объекта, указывающая его местоположение и размер.

Под *паттернами поведения* будем понимать характерные движения или позы, которые можно выявить на основе анализа ключевых точек и координат ограничивающего прямоугольника [1].

Говоря про *шум/шумные данные*, мы будем иметь в виду данные, содержащие случайные помехи или ошибки, которые могут затруднить их точную интерпретацию или анализ [5].

Введем понятие *walking*, так будем называть дальше класс крыса ходит/сидит. Для решения задачи классификации класса мы использовали одномерный фильтр Калмана с постоянной скоростью [6], усреднение результатов классификации [7] среди пяти кадров и медианный фильтр [8]. Классификация происходит по вектору скорости [9] и пороговому значению по длине этого вектора. Введем понятие *rearing*, так будем называть дальше класс крыса встала на задние лапы. Для решения задачи классификации этого класса мы использовали модель машинного обучения Random Forest [10] и усреднение результатов классификации [7] среди пяти кадров.

В данной статье также рассматривается задача классификации кадров в потоковом режиме, где кадры классифицируются поочередно, один за другим. Решение этой задачи формализовано в алгоритме программы [11]. Вместо выполнения каждого этапа сразу на всех данных, алгоритм реализует последовательность действий для классификации каждого кадра, что позволяет получать результаты классификации в режиме реального времени, не дожидаясь завершения обработки всех данных. Задача переводится в дискретную форму [12], обработка данных происходит поэтапно, где классификация нового кадра начинается после окончания классификации предыдущего, обеспечивая потоковую классификацию.

Аналогичное решение было предложено в работе [13]. В этой работе представлена компьютерная система распознавания образов, которая упрощает задачу анализа поведения животных, сводя к минимуму необходимость вмешательства человека. Система использует две видеокамеры для съемки поведения крыс в горизонтальной и вертикальной плоскостях в течение 15 минут. Их поведение фиксируется со скоростью один кадр в секунду. Данные с видеокамер преобразуются в формат, приемлемый для компьютеров Micro Vax I и VAX 11/750. Каждое видеоизображение преобразуется в массив размером 256 на 256, и в итоге каждый 15-минутный сеанс наблюдения генерирует 28800 блоков информации по 512 байт каждый. Используя математически полный набор моментов до четвёртого порядка и связанные с ними скалярные инварианты, компьютер запрограммирован на распознавание пяти основных положений тела крысы, включая стоячее, сидячее, на задних лапах, ходячее и лежащее. Компьютер также запрограммирован на распознавание таких действий, как уход за

шерстью, поворот головы, поворот всего тела, взгляд, обоняние, обнюхивание и умывание. Эта система не только ускоряет классификацию поведения, но и устраняет субъективность, часто проявляющуюся при участии в классификации наблюдателей-людей.

Классификация движения крысы

Для описания процесса анализа поведения крыс введем следующие обозначения и понятия на языке математики.

Ограничивающий прямоугольник очерчивает границы объекта на видеокадре [2]. Обозначим его как $bbox = (x_1, y_1, x_2, y_2)$, где (x_1, y_1) и (x_2, y_2) – координаты левого верхнего и правого нижнего углов, соответственно. Изменение положения ограничивающего прямоугольника во времени, обозначается как $\vec{v} = (v_x, v_y)$ и назовем *вектором скорости*.

Рассмотрим понятие *Фильтр Калмана* [6]. Он используется для предсказания и коррекции координат и размеров ограничивающего прямоугольника на основе предыдущих измерений. Обозначим его как *kalman*. Фильтр включает в себя шесть состояний и четыре измерения. Под *состоянием системы* будем понимать состояние фильтра Калмана, который на каждом шаге описывается вектором состояния $X = [x, y, w, h, v_x, v_y]^T$, где x, y – координаты центра *ограничивающего прямоугольника*; w, h – ширина и высота; v_x, v_y – компоненты скорости. Под *измерением системы* будем понимать измерения фильтра Калмана, которые на каждом шаге описывается уравнением измерения

$$z_k = [x_k, y_k, w_k, h_k]^T = H_k X_k + R_k,$$

где z_k – вектор измерений на шаге k ; H_k – матрица измерений; $\vec{X}_k$ – вектор состояния системы на шаге k ; R_k – шум измерений, задается через ковариационную матрицу шума измерений.

Под *пороговым значением*, которое обозначим как *threshold*, будем понимать минимальное значение длины вектора скорости, при котором можно утверждать, что крыса ходит. Логическую переменную, указывающую, находится ли крыса в движении, назовем *is_walking*. Одномерный массив *History*, будет содержать результаты классификации для последних 10 кадров. Он используется для усреднения и сглаживания текущих значений.

3.1 Математическая модель метода классификации движения крысы

Дано: Видеопоследовательность, состоящая из N кадров, каждый из которых содержит координаты *ограничивающего прямоугольника*, описывающие положение крысы [2]. Также задается пороговое значение *threshold* для классификации поведения крысы на основе вектора скорости. Кроме того, начальные шесть кадров используются для усреднения координат и размеров *ограничивающего прямоугольника*, что позволяет установить начальное состояние фильтра Калмана $\bar{x} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 y_i$, $\bar{w} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 w_i$, $\bar{h} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 h_i$ [6]. Сам фильтр Калмана задаётся 4 матрицами:

1. *Матрица перехода* (Transition Matrix) представляет вероятности перехода от одного шага к другому, описывая изменение состояния системы [6]. В контексте моделирования движения объекта с постоянной скоростью, мы используем матрицу перехода, чтобы показать, как координаты и размеры ограничивающего прямоугольника изменяются в зависимости от скорости. Единицы на диагонали матрицы указывают на то, что при нулевой скорости координаты и размеры ограничивающего прямоугольника остаются неизменными. Единицы в строках, соответствующих скорости (v_x и v_y), в матрице перехода указывают на то, что изменение координат объекта происходит линейно в зависимости от скорости. Это позволяет нам моделировать движение объекта таким образом, что при каждом шаге координаты x и y изменяются на величину, равную соответствующей компоненте скорости [6].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2. *Матрица измерений* (Measurement Matrix) связывает состояние системы с измерениями, определяя, какие компоненты состояния могут быть непосредственно измерены [6]. Единицы на диагонали указывают на возможность измерения координат и размеров ограничивающего прямоугольника (x, y, w, h). Компоненты скорости (v_x, v_y) не могут быть измерены напрямую, что требует использования косвенных методов для их оценки.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

3. *Ковариационная матрица шума процесса* (Process Noise Covariance Matrix) описывает неопределенность или шум [5] в модели процесса, показывая, насколько сильно состояние системы может отклоняться от предсказанного значения из-за внутренних факторов [6]. В рассматриваемой задаче вектор состояния имеет размерность 6 и включает координаты (x, y), размеры (w, h) и скорости (v_x, v_y) объекта. Таким образом, размерность матрицы Q равна 6×6 . Мы будем считать, что компоненты вектора состояния не коррелируют друг с другом. В этом случае можно использовать упрощенную модель. Матрица Q будет являться диагональной матрицей, где все элементы вне главной диагонали равны нулю. Диагональные элементы представляют собой дисперсии шума (σ^2) для каждого параметра состояния. Дисперсия рассчитывается как квадрат стандартного отклонения погрешности детектора, будем считать, что для всех диагональных элементов она одна. Для моделирования реалистичного сценария уровень шума оценён экспериментально: стандартное отклонение ошибки детектирования принято равным 0.13 пикселя, что соответствует дисперсии $\sigma^2 = 0.017$ для всех измеряемых параметров. Таким образом, матрица Q задаётся как $Q = 0.017 \cdot I_{6 \times 6}$, где $I_{6 \times 6}$ — единичная матрица.

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times 0.017.$$

4. *Ковариационная матрица шума измерений* (Measurement Noise Covariance Matrix) [6] характеризует дисперсию погрешностей данных, получаемых от системы детектирования [5]. В рассматриваемой задаче вектор измерений имеет размерность 4 и включает координаты и размеры объекта (x, y, w, h). Таким образом, размерность матрицы R равна 4×4 . Мы будем считать, что компоненты вектора измерений не коррелируют друг с другом. В этом случае можно использовать упрощенную модель. Матрица R будет являться диагональной матрицей, где все элементы вне главной диагонали равны нулю. Диагональные элементы представляют собой дисперсии шума (σ^2) для каждого компонента измерения. Дисперсия рассчитывается как квадрат стандартного отклонения погрешности детектора, будем считать, что для всех диагональных элементов она одна. Для моделирования реалистичного сценария уровень шума оценён экспериментально: стандартное отклонение ошибки детектирования принято равным 3.16 пикселя, что соответствует дисперсии $\sigma^2 = 10$ для всех измеряемых параметров. Таким образом, матрица R задаётся как $R = 10 \cdot I_{4 \times 4}$, где $I_{4 \times 4}$ — единичная матрица

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times 10.$$

Тогда необходимо найти:

1. Предсказание, коррекцию координат и размеров ограничивающего прямоугольника на каждом кадре с использованием фильтра Калмана [6]. Это включает обновление состояния системы на основе текущих измерений:

$$x_k = x_{k-1} + K_k(z_k - Hx_{k-1}),$$

где x_k – обновленное состояние, K_k – коэффициент усиления Калмана, z_k – измерения на шаге k .

2. Классификацию поведения крысы на основе вектора скорости $\vec{v}$ [9]:

$$is\_walking = \begin{cases} 1, & \text{если } \|\vec{v}\| > threshold \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

3. Усреднение пяти последних значений для сглаживания результатов классификации [7]:

$$history_{k-2} = \frac{history_k + history_{k-1} + history_{k-2} + history_{k-3} + history_{k-4}}{5}.$$

4. Результат применения медианного фильтра [8] к истории из 10 последних результатов классификации $history = median(history)$.

Алгоритм метода классификации движения крысы

Для решения задачи классификации был разработан алгоритм, представляющий собой класс, включающий три метода [9, 11]. Метод `filter_step()` выполняет шаг фильтрации с коррекцией на основе полученных измерений [6]. Метод `clsf_step()` осуществляет классификацию по вектору скорости [9]. Метод `step()` вызывается извне и внутри себя последовательно вызывает два предыдущих метода, возвращая отфильтрованные координаты ограничивающего прямоугольника на последнем кадре, результат классификации и вектор скорости [11]. Таким образом, задача переводится в дискретную форму [12], позволяя получать результаты классификации в потоковом режиме [11]. Дальнейшее описание алгоритма будет посвящено детальному рассмотрению каждого из этих методов и их взаимодействию в процессе обработки данных:

1. Инициализация
 - 1.1. Входные данные: передаются первые 6 кадров с координатами ограничивающего прямоугольника и размеры кадра (ширина и высота) [6].
 - 1.2. Усреднение начальных данных: рассчитываются усредненные координаты и размеры ограничивающего прямоугольника для установки начального состояния фильтра Калмана [6].
 - 1.3. Инициализация фильтра Калмана:
 - задаются матрицы перехода, измерений, шума процесса и шума измерений [6];
 - устанавливается начальное состояние фильтра Калмана с использованием усредненных координат ограничивающего прямоугольника [6].
2. Шаг фильтрации (`filter_step`)
 - 2.1. Входные данные: Текущий *ограничивающий прямоугольник* из видеокadra [2].
 - 2.2. Подготовка измерений: преобразование координат ограничивающего прямоугольника в формат, совместимый с фильтром Калмана [6].
 - 2.3. Коррекция состояния: использование текущих измерений для корректировки состояния фильтра Калмана [6].
 - 2.4. Предсказание состояния: вычисление предсказанных координат ограничивающего прямоугольника и вектора скорости (V_x , V_y) на основе текущего состояния фильтра Калмана [6].
3. Классификация поведения (`clsf_step`)
 - 3.1. Входные данные: вектор скорости (V_x , V_y) [9].
 - 3.2. Вычисление скорости: рассчитывается величина вектора скорости.
 - 3.3. Сравнение с порогом:
 - если скорость больше порогового значения (`threshold`), крыса движется (`is_walking = 1`);
 - иначе крыса стоит на месте (`is_walking = 0`).
 - 3.4. Сглаживание классификации:
 - сохраняются результаты классификации в историю (`classification_history`);
 - применяется усреднение среди пяти соседних значений и медианный фильтр для устранения шумов [7].

4. Основной цикл обработки кадров (step)

4.1. Входные данные: ограничивающий прямоугольник текущего кадра.

4.2. Для каждого кадра [11, 12]:

- выполняется шаг фильтрации (filter_step), возвращающий отфильтрованный ограничивающий прямоугольник и вектор скорости;
- выполняется шаг классификации (clsf_step), возвращающий результат классификации.

4.3. Возвращаются отфильтрованный ограничивающий прямоугольник, результат классификации и вектор скорости для текущего кадра.

Составим схему работы данного алгоритма (рис. 1).

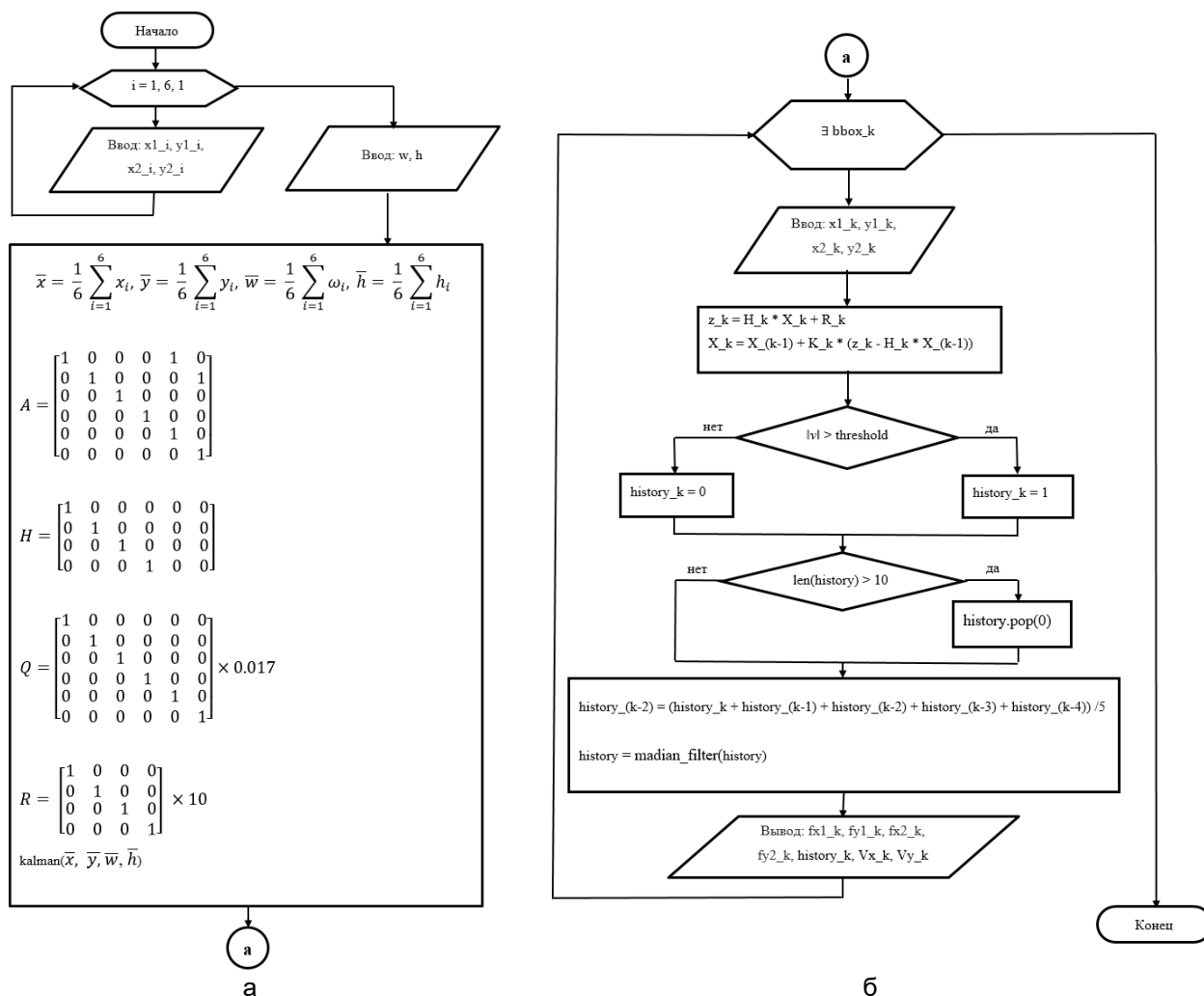


Рис. 1. Схема работы алгоритма

Эксперимент по классификации движения крысы

Для реализации класса будем использовать язык программирования Python [14] и редактор кода Visual Studio Code [15, 16]. Для экспериментов по подбору лучших методов определения класса и параметров для них будет использоваться Jupyter Notebook [17].

Для работы с классификатором, его тестирования и доработки, был создан новый класс [16]. Данный класс предназначен для считывания из директории видеофайлов в формате .mp4 и файлов разметки в формате .txt [2]. В первой строке текстового файла содержатся данные о размере кадра, в последующих строках содержится информация о разметке кадров. Каждый кадр описывается в отдельной строке, включая номер кадра, координаты ограничивающего прямоугольника, координаты контрольных точек и их score [18]. Score представляет собой числовое значение, отражающее уверенность в определении контрольной точки, он

варьируется от 0 до 1. Программа инициализирует фильтр Калмана [6], покадрово подает координаты ограничивающего прямоугольника в классификатор [2, 6, 7, 8, 9, 12] и визуализирует на видео результат классификации, контрольные точки, ограничивающий прямоугольник и вектор скорости для каждого кадра [11], а затем сохраняет результат в указанной директории (рис. 2).

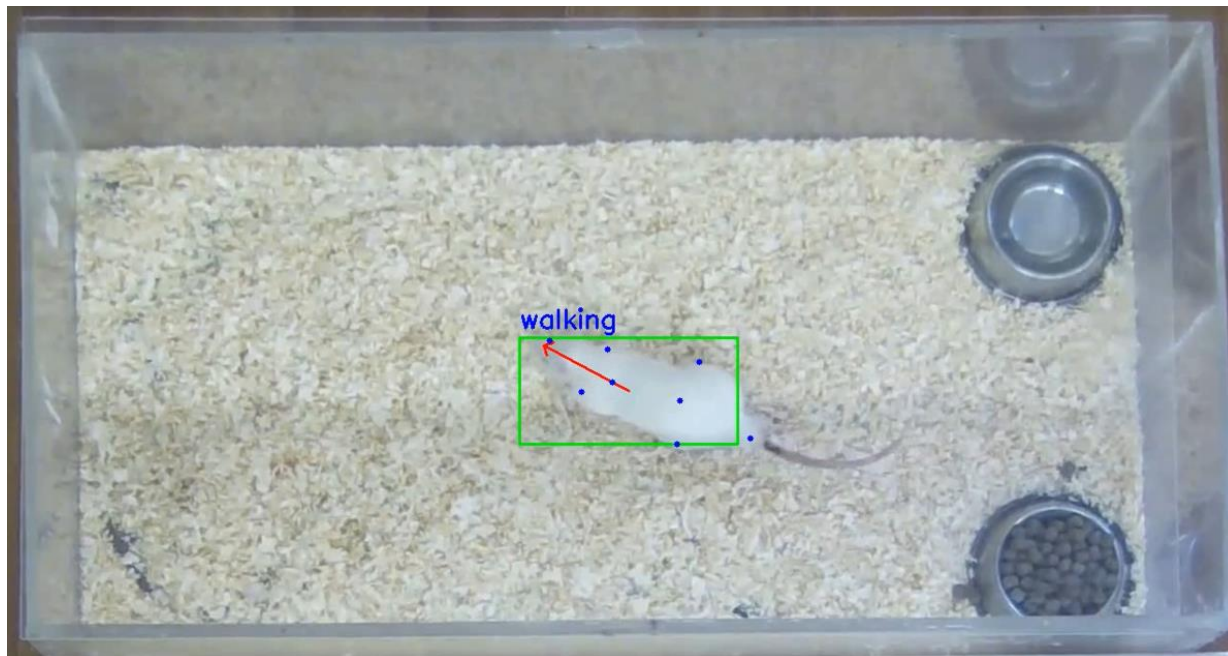


Рис. 2. Визуализация работы класса

В ходе экспериментов мы попробовали определять движение по одновременному смещению двух противоположных сторон ограничивающего прямоугольника [19]. Также попробовали использовать метрику *IoU* (Intersection over Union) [20]. Лучший результат для *IoU* был достигнут при значении 0.8, однако он оказался хуже, чем при использовании смещения ограничивающего прямоугольника. В ходе дальнейших экспериментов было установлено, что фильтр Калмана хорошо оценивает вектор скорости. Было принято решение задать пороговое значение и классифицировать движение по длине вектора скорости [9]. Это оказалось лучшим решением.

Далее стояла задача подбора параметров для алгоритма [6, 9]. В ходе эксперимента мы подобрали порог для величины вектора скорости, максимизировали коэффициент ковариационной матрицы шума процесса и минимизировали коэффициент ковариационной матрицы шума измерений [6, 9]. Комбинации параметров тестировались на различных данных с помощью написанной программы, которая автоматизировала процесс тестирования большого числа комбинаций параметров. В результате анализа удалось подобрать лучшие параметры: порог для величины вектора скорости равен 2 [9], коэффициент ковариационной матрицы шума процесса равен 0.017, коэффициент ковариационной матрицы шума измерений равен 10 [6].

В результате проделанной работы удалось добиться хорошего результата: алгоритм может быстро реагировать на изменения в поведении крысы. Он способен определять длинные и короткие промежутки активности, а также быстрые и медленные движения. Алгоритм не реагирует на повороты головы крысы и может определить движение по одному шагу. Как и любой алгоритм, он не лишён недостатков и имеет ложные срабатывания, но их количество удалось свести к минимуму.

Классификация паттерна: крыса встала на задние лапы

Попробуем определить класс *rearing*, когда крыса встаёт на задние лапы. Нам нужно найти признаки, по которым можно определить данный паттерн поведения [1]. Для этого

напишем класс, который будет принимать координаты контрольных точек, результат классификации класса *walking* и вектор скорости для каждого видео.

Контрольные точки [2] на теле крысы расставлены следующим образом: (0) – нос, (1, 2) – уши, (3) – точка между лопатками, (4) – середина позвоночника, (5, 6) – задние конечности, (7) – начало хвоста. Визуализируем расстановку точек (рис. 3).



Рис. 3. Расстановка контрольных точек

Введем понятие *точка a*, *точка b*, когда будем говорить о комбинации из двух точек [2] для расчёта некоторых признаков.

Математическая модель метода классификация паттерна: крыса встала на задние лапы

Дано: набор контрольных точек [2] и координаты вектора скорости для двух последних кадров. Кроме того, имеется частота кадров в видео и результат классификации класса "walking".

Тогда нам необходимо найти признаки [1], по которым мы могли бы определить класс:

1. Углы между прямыми [1], образованными двумя точками (0 – 3, 3 – 4, 4 – 7, 0 – 7), на разных кадрах. Для вычисления мы используем функцию $\arctan2$ [21]. Эта функция позволяет вычислить угол между двумя векторами. $\arctan2$, в отличие от обычного $\arctan$, учитывает знак обоих аргументов, чтобы определить правильный квадрант для угла. Это позволяет корректно определять угол в полном диапазоне от $-\pi$ до π (от -180° до 180°), в то время как $\arctan$ возвращает значения только в диапазоне от $-\pi/2$ до $\pi/2$. Для описания направления и величины изменения расстояния между двумя точками [22] в предыдущем кадре будем использовать $v_{prev_k} = (x_{a,(k-1)} - x_{b,(k-1)}, y_{a,(k-1)} - y_{b,(k-1)})$, а для описания направления и величины изменения расстояния между теми же двумя точками [23], но уже в текущем кадре, будем использовать $v_{curr_k} = (x_{a,k} - x_{b,k}, y_{a,k} - y_{b,k})$. В результате мы сможем посчитать угол между прямыми $Angle_{a-b,k} = \arctan2(\det[v_{prev_k}, v_{curr_k}], v_{prev_k} \cdot v_{curr_k})$ [24].
2. Смещения положения точек (0, 3, 4, 7) между кадрами. Для расчёта будем использовать евклидово расстояние [25] между точкой на текущем и предыдущем кадре $Distance\_a = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2}$.
3. Расстояния между 2 ключевыми точками (0 – 3, 3 – 4, 4 – 7, 0 – 7) на одном кадре. Для расчетов будем использовать формулу евклидова расстояния [24] между двумя точками $distances\_dict\_a-b = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$.

4. *Скорость перемещения* точек (0, 3, 4, 7) на кадре. Для расчетов будем использовать формулу скорости $speed\_a = \frac{Distance\_a}{\frac{1}{fps}}$.

5. *Изменение в направлении вектора скорости.* Для расчётов будем использовать формулу косинусную меру угла между векторами [25] $velocity\_change = \arccos\left(\frac{\vec{v}_{k-1} \cdot \vec{v}_k}{\|\vec{v}_{k-1}\| \|\vec{v}_k\|}\right)$, формула вычисляет угол между двумя векторами с использованием скалярного произведения и нормы векторов. Для аргумента функции $\arccos$ зададим ограничения в пределах от -1.0 до 1.0 , чтобы избежать численных ошибок, связанных с выходом за пределы допустимого диапазона. Формула вычисляет угол между двумя векторами в диапазоне от 0 до π радиан (или от 0° до 180°).

Сформируем набор данных для предсказания класса. Все вычисленные значения (углы, расстояния, скорости, изменения вектора скорости), а также результат классификации класса walking соберём в DataFrame. Пустые значения заполним нулями.

Алгоритм метода классификация паттерна: крыса встала на задние лапы

Для решения задачи классификации был разработан алгоритм, представляющий собой класс [11], включающий три метода. Метод `data_step()` извлекает признаки из координат ключевых точек [1, 2, 20–24], вектора скорости и результатов классификации класса walking. Метод `clsf_step()` классифицирует поведение крысы с использованием модели Random Forest [10] и усредняет [7] текущее значение среди двух предыдущих и двух последующих кадров. Метод `step()` вызывается извне и внутри себя последовательно вызывает два предыдущих метода [11], возвращая результат классификации класса rearing. Таким образом, задача переводится в дискретную форму [12], позволяя получать результаты классификации в потоковом режиме. Дальнейшее описание алгоритма будет посвящено детальному рассмотрению каждого из этих методов и их взаимодействию в процессе обработки данных.

1. Инициализация.

1.1. Входные данные:

- загружается модель машинного обучения (`random_forest_model.joblib`) [10];
- инициализируется нормализатор (`StandardScaler`) [26].

1.2. Усреднение начальных данных:

- создается пустой список `classification_history` для хранения истории классификаций.

2. Шаг подготовки данных (`data_step`).

2.1. Входные данные:

- словарь ключевых точек (`keypoints_dict`) [2], частота кадров (`fps`), векторы скорости (`velocity_vectors`), результаты классификации (`classification_results`).

2.2. Подготовка данных:

- вычисляются углы между прямыми, образованными ключевыми точками [1, 21–23];
- смещение положения точек [1, 24];
- вычисляются расстояния между парами ключевых точек [1, 24];
- вычисляются скорости перемещения точек между кадрами;
- вычисляются изменения угла вектора скорости [25];
- формируется DataFrame с подготовленными данными для предсказания модели.

3. Шаг классификации поведения (`clsf_step`).

3.1. Входные данные:

- подготовленные данные (`data`).

3.2. Классификация поведения:

- модель Random Forest [10] предсказывает результат классификации;
- результат сохраняется в `classification_history`;
- возвращается усредненное значение последних пять результатов классификации.

4. Основной цикл обработки кадров (`step`).

4.1. Входные данные:

- словарь ключевых точек (`keypoints_dict`);
- частота кадров (`fps`);

- вектор скорости (velocity_vector);
- результаты классификации (classification_results).

4.2. Обработка кадров:

- для каждого кадра выполняется подготовка данных (data_step) [1];
- предсказание (clsf_step) [10];
- возвращается результат классификации для текущего кадра.

Составим схему работы данного алгоритма (рис. 4).

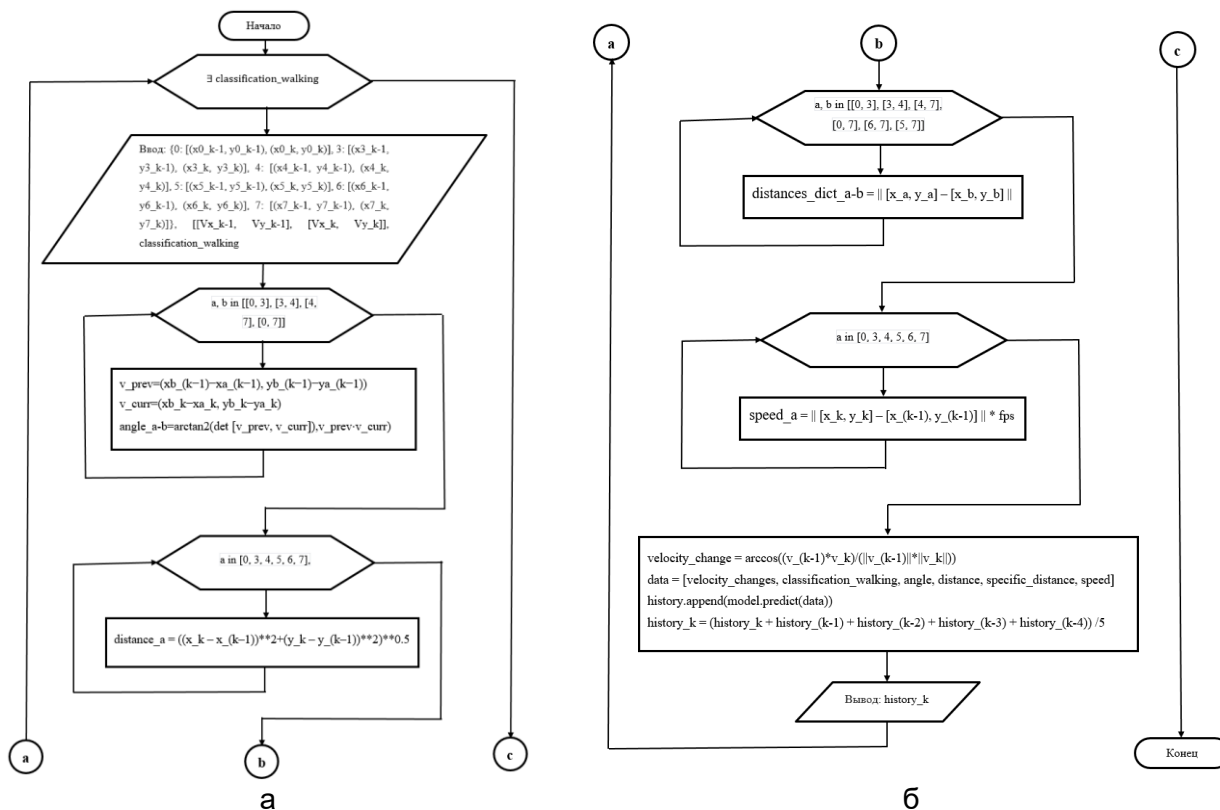


Рис. 4. Схема работы алгоритма

Эксперимент по классификации паттерна: крыса встала на задние лапы

Извлечём признаки из контрольных точек [2]: угол между прямыми [1, 21, 22, 23], образованными ключевыми точками 0 – 3, 3 – 4, 4 – 7, 0 – 7; смещение точек 0, 3, 4, 5, 6, 7 [1, 24]; расстояние между точками 0 – 3, 3 – 4, 4 – 7, 0 – 7, 6 – 7, 5 – 7 [1, 24]; скорость точек 0, 3, 4, 5, 6, 7; изменение угла вектора скорости. Объединим новые признаки с результатом классификации класса walking. Разметим каждый кадр набора данных rearing, отметив кадры, на которых крыса стоит на задних лапах, и визуализируем данные на графиках для каждого видео (рис. 5). Попробуем найти закономерности и выдвинем гипотезы как можно определить класс rearing [1]:

- когда падает расстояние между крайними точками (0 – 7) на теле крысы. Но также это может удовлетворять классу крыса сворачивается в клубочек;
- когда сильно меняется направление вектора скорости, а смещение точки (7) хвост меняется слабо;
- когда меняется резко угол направления, куда смотрит мордочка (0-3), а смещение точки хвост (7) остается практически без изменений. Так как крыса делает резкое движение чтобы подняться на задние лапы;
- предположим, что, когда крыса стоит на 4 лапах, тогда расстояние между ключевыми точками в убывающей последовательности выглядит так: от середины спины до хвоста (4 – 7), мордочка (0 – 3), от мордочки до середины спины (3 – 4). А на двух лапах так: мордочка (0 – 3), от середины спины до хвоста (4 – 7), от мордочки до середины спины (3 – 4). То есть зона мордочки становится больше, а зона конца туловища меньше.

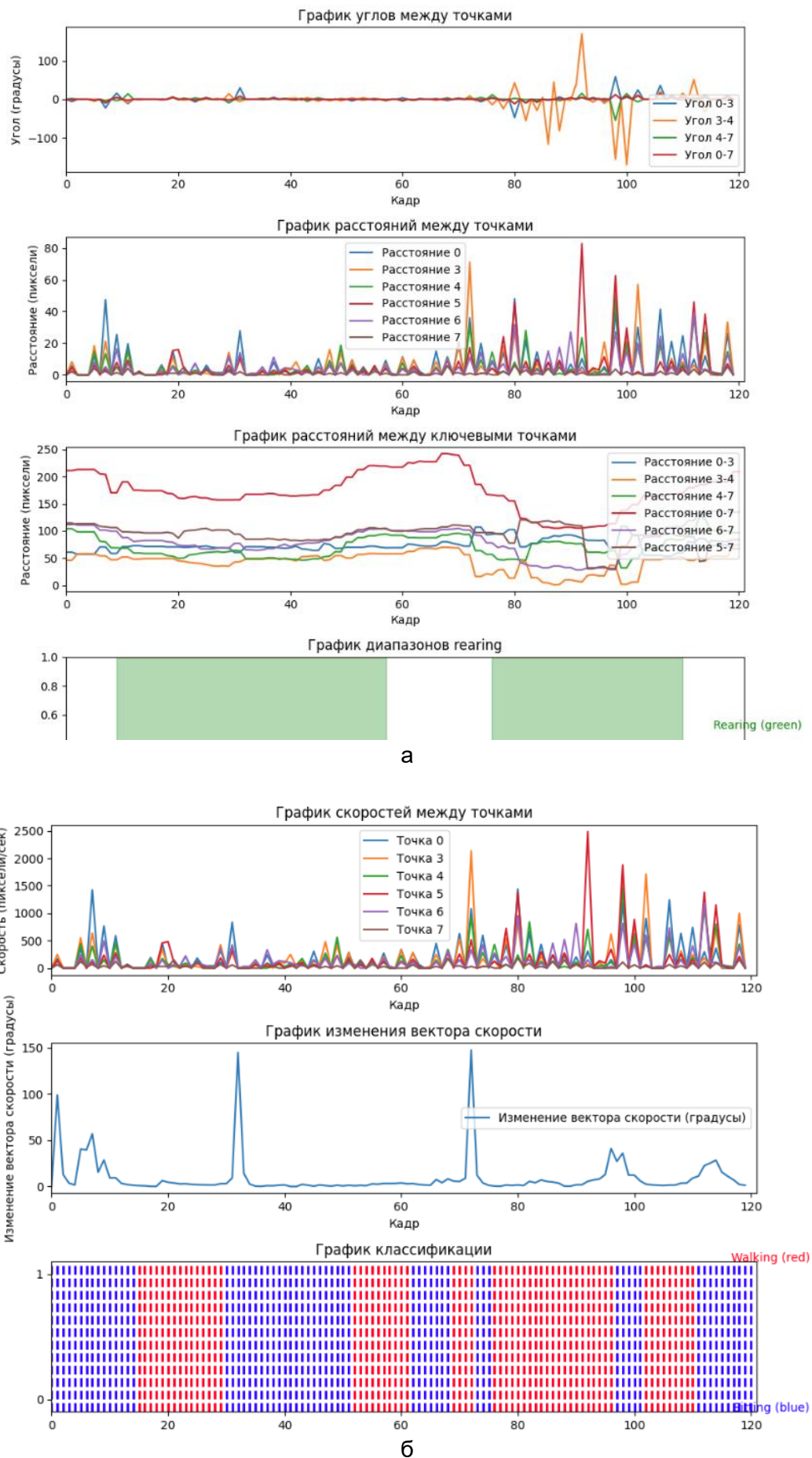


Рис. 5. Пример визуализация признаков на одном видео

Подготовим набор данных из признаков, по которым строились графики. Чтобы проверить гипотезы напишем программы [14, 15, 17], которые будут выводить номера кадров на которых наблюдаются условия из гипотезы. По результатам выводится большое количество кадров и плохо отделяется наш класс $\text{rearing} = 1$ от $\text{rearing} = 0$. Recall (полнота) – это доля истинно положительных результатов среди всех фактически положительных случаев, показывает, насколько хорошо алгоритм находит все положительные примеры. Precision (точность) – это доля истинно положительных результатов среди всех положительных прогнозов, показывает, насколько точны положительные прогнозы. Recall получился хорошим, а precision маленьким [27] из-за того, что в положительный класс попало много значений, как истинно положительных, так и ложноположительных. Это говорит, что алгоритм плохо описывает $\text{rearing} = 1$.

Попробуем обучить на всех признаки модель RandomForest [10], а потом посмотрим метрику Feature Importance [29]. Feature Importance (важность признаков) – это мера, показывающая, насколько каждый признак влияет на предсказание модели. Будем использовать комбинации признаков, где на каждом признаке обучим свое дерево решений [10]. А результат будет определяться путем взвешенного голосования [28], по результатам метрики Feature Importance [29] (рис. 6).

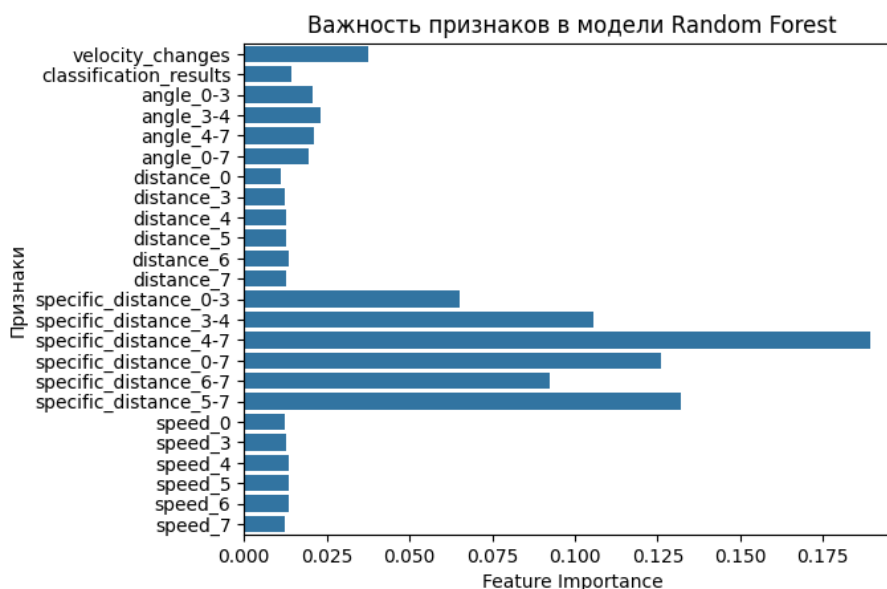


Рис. 6. Важность признаков

Лучшей комбинацией признаков оказалось использование расстояния между точками: 0 – 3, 3 – 4, 4 – 7, 0 – 7, 6 – 7, 5 – 7 и значение изменение угла вектора скорости. Что подтверждает полученный график важности признаков в модели Random Forest (рис. 6) [29], который говорит о том, что модель в основном опирается на расстояние между точками при классификации. Но даже при лучшей комбинации модель выдает плохой результат. Метрики с результатами работы модели сведены в таблицу 1 [27]. Таблица состоит из нескольких колонок. Колонка precision (точность) показывает долю истинно положительных результатов среди всех положительных прогнозов, что отражает точность модели в предсказании положительного класса. Колонка recall (полнота) отображает долю истинно положительных результатов среди всех фактически положительных случаев, демонстрируя способность модели находить все положительные примеры. f1-score представляет собой среднее гармоническое между precision и recall, предоставляя баланс между этими двумя метриками и показывая общую эффективность модели. Колонка support указывает количество истинных примеров в каждом классе, что важно для понимания распределения данных. Модель пытается различить класс $\text{rearing} = 0$, когда крыса стоит на четырёх лапах, и класс $\text{rearing} = 1$, когда крыса стоит на двух задних лапах. Accuracy (точность) показывает долю правильно предсказанных примеров среди всех примеров, давая общее представление о точности модели. Macro avg и weighted avg предоставляют средние

значения метрик, где *macro avg* рассчитывается как простое среднее, не учитывающее размер классов, а *weighted avg* учитывает размер каждого класса, что важно при наличии дисбаланса классов.

Таблица 1. Метрики модели Random Forest, обученной на значимых признаках

	precision	recall	f1-score	support
rearing = 0	0.47	0.51	0.49	2148
rearing = 1	0.27	0.39	0.32	1253
accuracy			0.40	3401
macro avg	0.37	0.45	0.40	3401
weighted avg	0.40	0.47	0.43	3401

Модель показывает низкие значения *precision* и *recall* для класса *rearing = 1* [27], что указывает на плохую способность модели различать этот класс. Низкий *f1-score* для *rearing = 1* подтверждает, что модель плохо справляется с классификацией этого класса. Общая точность модели составляет 40%, что является низким показателем.

Сделаем предположение о том, что класс *rearing* легче всего определить по началу класса, когда крыса делает резкое движение чтобы подняться на задние лапы [1]. Метрики с результатами работы модели сведем в таблицу 2.

Таблица 2. Метрики модели Random Forest, обученной определять начало класса

	precision	recall	f1-score	support
rearing = 0	1.00	1.00	1.00	3384
rearing = 1	0.20	0.06	0.09	17
accuracy			0.99	3401
macro avg	0.60	0.53	0.54	3401
weighted avg	0.99	0.99	0.99	3401

Проведем анализ результатов. Высокие значения *precision* и *recall* для *rearing = 0* обусловлены дисбалансом классов [27]. Нам не удалось хорошо обучить модель, чтобы она научилась определять класс *rearing = 1*. Низкий *f1-score* для *rearing = 1* подтверждает, что модель плохо справляется с классификацией этого класса. Высокая общая точность (99%) также обусловлена дисбалансом классов.

Мне не удалось найти конкретные значения признаков, по которым можно определить класс *rearing = 1* [1]. Далее попробуем использовать готовую модель Random Forest [10], которую будем обучать сразу на всех признаках набора данных *rearing*, чтобы в дальнейшем интегрировать модель в мой классификатор. Метрики с результатами работы модели сведем в таблицу 3.

Таблица 3. Метрики модели Random Forest, обученной на наборе данных *rearing*

	precision	recall	f1-score	support
rearing = 0	0.57	0.83	0.67	976
rearing = 1	0.86	0.62	0.72	1640
accuracy			0.70	2616
macro avg	0.71	0.73	0.70	2616
weighted avg	0.75	0.70	0.70	2616

Проанализируем результаты таблицы. Улучшение метрик для обоих классов, особенно для *rearing = 1* [27], указывает на лучшее качество классификации. Улучшение *f1-score* для обоих классов подтверждает, что модель стала работать лучше. Общая точность составляет 70%, что является хорошим результатом.

Можно заметить, что *precision* для класса *rearing = 0* меньше чем для класса *rearing = 1* [27]. Это позволяет сделать вывод, что модели недостаточно данных в наборе *rearing* для обучения

классификации класса rearing = 0. Попробуем расширить набор данных за счёт добавление в него данных из набора walking, в разметке укажем, что нет ни одного кадра, где крыса встала на задние лапы. Метрики с результатами работы модели сведем в таблицу 4 [27].

Таблица 4. Метрики модели Random Forest, обученной на наборах данных rearing и walking

	precision	recall	f1-score	support
rearing = 0	0.79	0.95	0.86	2148
rearing = 1	0.87	0.57	0.69	1253
accuracy			0.81	3401
macro avg	0.83	0.76	0.78	3401
weighted avg	0.82	0.81	0.80	3401

В результате значительно улучшились метрики для обоих классов. Высокий f1-score также подтверждает, что модель стала работать лучше. Общая точность составляет 81%, что является лучшим результатом.

Попробуем использовать модель GradientBoosting [29]. Метрики с результатами работы модели сведем в таблицу 5 [26].

Таблица 5. Метрики модели GradientBoosting, обученной на наборах данных rearing и walking

	precision	recall	f1-score	support
rearing = 0	0.76	0.94	0.84	2148
rearing = 1	0.83	0.49	0.62	1253
accuracy			0.78	3401
macro avg	0.79	0.72	0.73	3401
weighted avg	0.79	0.78	0.76	3401

Из таблицы 6 можно заметить улучшение метрик для класса rearing = 0, но ухудшение для rearing = 1 [26]. Низкий f1-score для rearing = 1 подтверждает, что модель плохо справляется с классификацией этого класса. Общая точность составляет 78%, что ниже, чем у модели Random Forest [10].

Таким образом, проведенный эксперимент показал, что Random Forest [10], обученной на наборах данных rearing и walking, демонстрирует хорошую эффективность в определении класса rearing. Добавим к нему усреднение на 5 кадрах, чтобы сгладить результаты классификации модели. Оформим итоговое решение в класс, используя язык программирования Python [14] и редактор кода Visual Studio Code [15, 16]. Классификатор хорошо определяет класс вставание на задние лапы, давая минимальные ошибки на тестовых видео.

Заключение

В ходе исследования были разработаны и протестированы методы идентификации паттернов поведения лабораторных крыс на основе анализа видеок кадров. Для классификации класса "ходит/сидит" использовался фильтр Калмана в сочетании с медианным фильтром и усреднением результата среди пяти кадров, что позволило эффективно определять активность крыс, включая длинные и короткие промежутки движения, а также быстрые и медленные перемещения. Этот метод показал высокую точность и устойчивость к шуму с минимальным количеством ложных срабатываний.

Для классификации класса вставание на задние лапы была применена модель Random Forest с усреднением результата среди 5 кадров и обученная на двух наборах данных rearing и walking. Подход продемонстрировал лучший результат. Таким образом, предложенные методы являются эффективными инструментами для автоматизации мониторинга поведения крыс. Результаты исследования в дальнейшем помогут в выявлении паттернов поведения пациентов в больнице, для создания системы мониторинга в реальном времени за пациентами без участия врачей.

Однако, моё решение не лишено недостатков и для получения более точного результата, требуется проведение дальнейших исследований и экспериментов с другими методами, которые позволят более точно определять паттерны поведения крыс.

Список использованных источников

1. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer. 2006. 15 p.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer. 2010. 45 p.
3. Papandreou G. et al., PersonLab: Person Pose Estimation and Instance Segmentation with a Body-Driven Model, CVPR, 2018. 120 p.
4. CVAT Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/openvinotoolkit/cvat> (дата обращения: 16.02.2025).
5. Russakovsky O. et al., ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, IJCV. 2015. 78 p.
6. Гребенщиков Д.С. Фильтр Калмана и его применение, Физматлит. 2009. 56 с.
7. Brown R.G., Hwang P.Y.C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, Wiley. 1997. 89 p.
8. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning, Springer. 2009. 112 p.
9. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A., Deep Learning, MIT Press, 2016. 223 с.
10. Breiman L., Random Forests, Machine Learning, 2001. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/randomforest/cc_home.htm (дата обращения: 05.03.2025).
11. Murphy K.P., Machine Learning: A Probabilistic Perspective, MIT Press. 2012. 156 p.
12. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J., The Elements of Statistical Learning", Springer. 2009. 112 p.
13. Kernan Jr.W.J., Mullenix P.J., Hopper D.L. (1987). Pattern recognition of rat behavior. Physiology & Behavior. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/0091-3057\(87\)90367-4](https://doi.org/10.1016/0091-3057(87)90367-4) (дата обращения: 26.02.2025).
14. Python Software Foundation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.Python.org> (дата обращения: 21.02.2025).
15. Visual Studio Code Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://code.visualstudio.com/> (дата обращения: 21.02.2025).
16. GitHub. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/ciigann/Identification-of-patterns-of-behavior-of-laboratory-rats-by-sequence-of-video-frames.git> (дата обращения: 21.02.2025).
17. Jupyter Notebook Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://jupyter.org/> (дата обращения: 22.02.2025).
18. Powers D.M.W. Evaluation: From Precision, Recall and F-measure to ROC, Informedness, Markedness and Correlation, Journal of Machine Learning Technologies. 2011. 37 p.
19. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, International Journal of Computer Vision. 2004. 91 p.
20. Everingham M. et al. The PASCAL Visual Object Classes Challenge, International Journal of Computer Vision. 2010. 303 p.
21. Press W.H. et al. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press. 2007. 180 p.
22. Boyd S., Vandenberghe L. Convex Optimization, Cambridge University Press. 2004. 45 p.
23. Strang G. Introduction to Linear Algebra, Wellesley-Cambridge Press. 2016. 110 p.
24. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms, MIT Press. 2009. 180 p.
25. Bishop C.M., Pattern Recognition and Machine Learning, Springer. 2006. 410 p.
26. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research. 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scikit-learn.org/> (дата обращения: 24.03.2025).
27. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning, Springer. 2009. 610 p.
28. Zhou Z.H., Ensemble Methods: Foundations and Algorithms, Chapman and Hall/CRC. 2012. 150 p.
29. Kuhn M., Johnson K. Feature Engineering and Selection: A Practical Approach for Predictive Models, Morgan Kaufmann. 2019. 220 p.
30. Friedman J.H., Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine, Annals of Statistics, 2001. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://projecteuclid.org/euclid.aos/1015951160> (дата обращения: 15.03.2025).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ И ИННОВАЦИИ

УДК 1082

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОБОСНОВАННОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗНОРОДНОСТИ И НЕСТРУКТУРИРОВАННОСТИ ОТРАСЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Вишневская А.О. (студент, НИУ ВШЭ)

Научный руководитель: ст.преп., н.с. Никогосян К.С. (НИУ ВШЭ)

e-mail: annavishenkavao@gmail.com

Работа посвящена формированию модели аналитических центров управления данными как инструмента для повышения качества принятия управленческих решений. Уникальным продуктом исследовательского труда является методология, универсально подстраиваемая под запросы разных сфер. Это решение достигается путем опоры на идентичные якорные точки, присущие разным системам, работающим с разрозненными данными в условиях отсутствия единых подходов к сбору и анализу разнородной информации, поступающей из источников, не связанных или слабо связанных друг с другом.

В работе описана как структура организационной модели аналитического центра, включающей специализированные отделы по сбору, обработке и представлению данных, так и методология работы с многоуровневой системой компонентов и показателей, которые формируются из неструктурированных данных. В статье подчеркиваются два аспекта: преимущества применения дата-ориентированного подхода в принятии решений для ЛПР на разных уровнях и возможность объединения данных для повышения качества стратегического принятия решений.

Ключевые слова: аналитические центры, управление данными, предписывающая аналитика, цифровая трансформация, система компонентов и показателей, Data-Driven подход.

Цифровая трансформация, в частности технологии информационного моделирования, становятся одним из ключевых мотиваторов в сторону Data-Driven подхода, где управленческие и стратегические решения принимаются на основе анализа предварительно унифицированных в единый формат больших массивов разнородной и разноуровневой информации в отрасли [1].

А именно акторы, находящиеся внутри отраслевой структуры, ежедневно генерируют огромные объемы данных, которые даже в условиях первичной обработки и автоматизации уходят “в стол”, не достигая верхнеуровневых ЛПР. Решения, принимаемые без учета всех данных, теряют в эффективности по показателям качества и конкурентоспособности.

Колоссальный объем данных, конституирующих среду и описывающих ее детальные параметры, не входит в формулу для принятия решений из-за следующих проблем: фрагментированности источников, отсутствия единых стандартов сбора и обработки данных, разнородности форматов и ограниченной компетентности персонала в области аналитики. Сами же управленческие решения часто принимаются на основе частичных или несопоставимых данных. Это уменьшает их практическую ценность, реальную релевантность и способность решениями более точно и эффективно воздействовать на текущие задачи и вызовы.

Обратимся к цифрам. Коммерческий сектор активно применяет технологии обработки и анализа данных: около 89% компаний выделяют на это до 5% бюджета, а 77% используют отечественные системы (BI, CRM, СЭД). Однако из фокуса уходит предшествующая стадия: сбор максимально полного необработанного материала из локальных источников и приведение его к единому формату для централизованного анализа. Особенно остро в этом нуждается государственный сектор и сфера производства и поддержки общественных благ, которые требуют комплексного объединения разрозненных данных при низком потенциале финансирования Data-Driven подхода.

Методы, описанные в научной работе, могут стать ключевым инструментом для решения этих проблем, обеспечивая централизованный подход к сбору, обработке и анализу информации для поддержки принятия управленческих решений в различных сферах.

Рассмотрим детально проблемы внедрения аналитики данных. В ходе анализа выделила основные признаки:

- разрозненность данных, когда информация хранится в различных системах (личные кабинеты, системы безопасности, административные базы данных), не агрегирующих и хранящих данные в едином цифровом пространстве;
- отсутствие единых стандартов подготовки данных к анализу: различные подразделения используют собственные форматы и методы сбора данных, что затрудняет их консолидацию и сопоставление;
- недостаток компетенций, когда специалисты, которые собирают данные, часто не обладают достаточными навыками работы с современными инструментами аналитики и визуализации данных, в особенности в государственных и общественных структурах;
- высокая доля стоимости внедрения в бюджете отрасли, а именно создание полноценной аналитической структуры требует значительных финансовых вложений на каждом из шагов реализации, включающих закупку программного обеспечения и обучения персонала;
- неподготовленность акторов отрасли: внедрение новых процессов часто встречает сопротивление со стороны сотрудников, испытывающих дефицит знаний в цифровой трансформации сферы;
- нормативные обременения, выраженные в необходимости соблюдать требования по защите данных;
- отсутствие системного подхода к сбору данных представлено как применение точечных решений без формирования комплексной стратегии управления данными.

Организационная модель аналитического центра управления данными может стать эффективным инструментом для преодоления вышеперечисленных проблем. Она включает несколько ключевых отделов, каждый из которых выполняет установленные функции в общем процессе работы с данными таким образом, что в одной системе формируется синергия между двумя противоположными участниками: владельцами данных, не знакомыми с техническими аспектами их анализа, и специалистами по работе с данными, которые не имеют доступа к сбору и агрегации локальной информации.

Структура аналитического центра основывается на принципе разделения ответственности между специализированными отделами. Координационный отдел осуществляет общее управление процессами и взаимодействие с заказчиками аналитических услуг. Блок экспертизы и хранения данных отвечает за централизованное хранение информации, обеспечение ее качества и создание единого репозитория. Отдел обработки данных выполняет очистку и структурирование поступающей информации. Отдел анализа данных применяет статистические методы и алгоритмы машинного обучения для выявления закономерностей и трендов. Отдел представления данных создает визуализации, дашборды и отчеты для конечных пользователей.

Ключевой особенностью предлагаемой модели является интеграция представительства подразделений – специальной структуры, которая обеспечивает сбор данных от всех подразделений вуза. В каждом подразделении назначается ответственный сотрудник, обеспечивающий своевременное предоставление качественных данных в установленных форматах. По сути, он является как представителем группы владельцев локальных данных, так и их проводником к специалистам по работе с данными, унифицирующими и обрабатывающими их для последующей адресации в инстанции обработки и хранения высшего уровня.

Центральным элементом методологии работы с данными является система компонентов и показателей. Компоненты представляют собой первичные неструктурированные данные, которые агрегируются в показатели на основе веса в динамической формуле, для последующего объединения в итоговые результаты для принятия управленческих решений.

Более неформальное название: “система тегов и весов”. Она представляет собой ключевую инновацию предлагаемой методологии, обеспечивающую гибкость и адаптивность аналитического процесса. Каждый компонент данных маркируется набором семантических тегов, которые описывают его содержание и назначение. Такая многомерная классификация позволяет одному компоненту участвовать в формировании различных показателей в зависимости от контекста анализа.

Каждый тег (показатель) имеет индивидуальный вес (значение от 0 до 1), определяющий степень влияния конкретного компонента на формируемый формулой суммарный общий показатель. Система весов является динамической и подлежит регулярной актуализации на основе экспертных оценок, результатов анализа и обратной связи от пользователей системы. Процесс определения весов реализуется через коллегиальную форму-опрос для представительства подразделений.

Методология обеспечивает трансформерный принцип работы с данными - возможность кросс-конструкции компонентов различных категорий для решения междисциплинарных задач и отдельно каждого уникального кейса. Это достигается через систему кодов описания задач, которые автоматически сопоставляют релевантные компоненты с требуемыми показателями на основе семантического анализа запроса.

Техническая реализация системы базируется на применении предписывающей аналитики, включающей разработку моделей и алгоритмов анализа и многоуровневое агрегирование данных:

- уровень 1: Группировка компонентов по категориям;
- уровень 2: Составление наборов компонентов для конкретных показателей с применением тегов и весов;
- уровень 3: Синхронизация форматов и финальная обработка для аналитических алгоритмов.

Одной из технических особенностей методологии является принцип работы аналитического отдела. Она подразделена на анализ VI (анализ актуальной информации) и ML (обучение на качестве прошлых итераций), на основе идентичных компонентов, подразделенных на текущие и ретроспективные.

Рассмотрим практическое применение методологии на двух конкретных примерах: в сферах образования и производства общественных благ.

Первый пример связан с исполнением текущих задач академической и проектной деятельности студентов вузов.

Анализ грантовых заявок вуза: оценка перспектив реализации научных проектов при подаче заявок на гранты (НИОКР). Традиционная экспертиза заявок фокусируется исключительно на содержании и структуре проекта - его соответствии требованиям и наличии научной ценности; решение о допуске студента к грантовой поддержке определяется научным подразделением вуза (комиссией). На итог экспертизы не влияет профиль автора работы: его деятельность, академические и иные особенности, в частных случаях комиссия ограничивается ознакомлением с текущей успеваемостью студента. При таком подходе инвестор не получает ответы на необходимые для инвестирования вопросы: насколько заявитель способен выполнить проект качественно и в срок, оставит ли проект устойчивый задел на перспективное развитие, интегрируется ли проект в стратегию развития университета и федеральные задачи и основной: каковы риски нецелевого использования средств или неудачи в реализации и проработке проекта?

Гипотеза данной работы состоит в том, что ответы на эти вопросы можно получить при комплексном предварительном анализе профиля заявителя - цифрового портрета характеристик студента как ключевого (или единственного) драйвера проекта. Основные положения кейса можно увидеть на рисунке 1.

Рассмотрим алгоритм работы такого центра. Среди держателей данных: преподаватели (академическая активность, инициативность), учебный офис и операционное управление программы (академическое поведение, успеваемость и итоговые ведомости, охранный предприниматель на территории вуза (частота посещений) – все они являются их поставщиками для аналитического отдела. Каждый из этих компонентов (данных) маркируется рядом “тегов”,

каждый из которых имеет свой вес, определенный ранее представителями подразделений исходя из значимости для конкретной задачи: подачи на грант: компонент успеваемости содержит теги #качество_обучения (1) и #вовлеченность (0,8). Так получается, что у других компонентов также будут подобные теги, значение по которым от разных компонентов складывается и входит в единую формулу: например, $0,2 * \# \text{вовлеченность} + 0,8 * \text{успеваемость} + 0,6 * \text{частота} + \text{и системность пребывания в вузе} + 0,6 * \text{частота и продолжительность пребывания в общежитии...} + 0,4 * \# \dots$ Так, для каждого из заявителей можно получить конкретное значение “цифрового профиля” и составить рейтинг для ЛПР (рис. 2). Последовательность взаимодействия отделов аналитического центра указана на рисунке 3, методика 2 ступени обработки данных внутри Аналитического отдела представлена на рисунке 4.

Итоговый продукт: рекомендации по выстраиванию организационной модели создания на базе вузов центров по управлению данными

Глоссарий:

Компоненты (они же данные) - существующие данные ВУЗа, которые отражаются в табелях, системах безопасности и наблюдения, учебных приложениях, на дисках и пр. Например: данные об успеваемости, посещении занятий, прохождении через турникет безопасности.

Показатели - результаты, которые можно получить на основе сопоставления компонентов, проведения корреляций, использования в формулах в определенной значимости компонента (весе). Например: показатель качества обучения, вовлеченности в образовательную деятельность

Результаты - собранные из показателей отчеты, дашборды, а также структурированное хранение корзины (компоненты → показатель), полученные тезисы и выводы на основе сопоставления показателей, их динамики в ретроспективе и проч.

Заказчик результата - заинтересованное в качественном решении вопроса лицо. Как правило, вопрос стратегически важный. Например: проректор, научный сотрудник, представитель Администрации и др.

Исполнитель - Аналитический центр при ВУЗе

1

Рис. 1. Глоссарий кейса

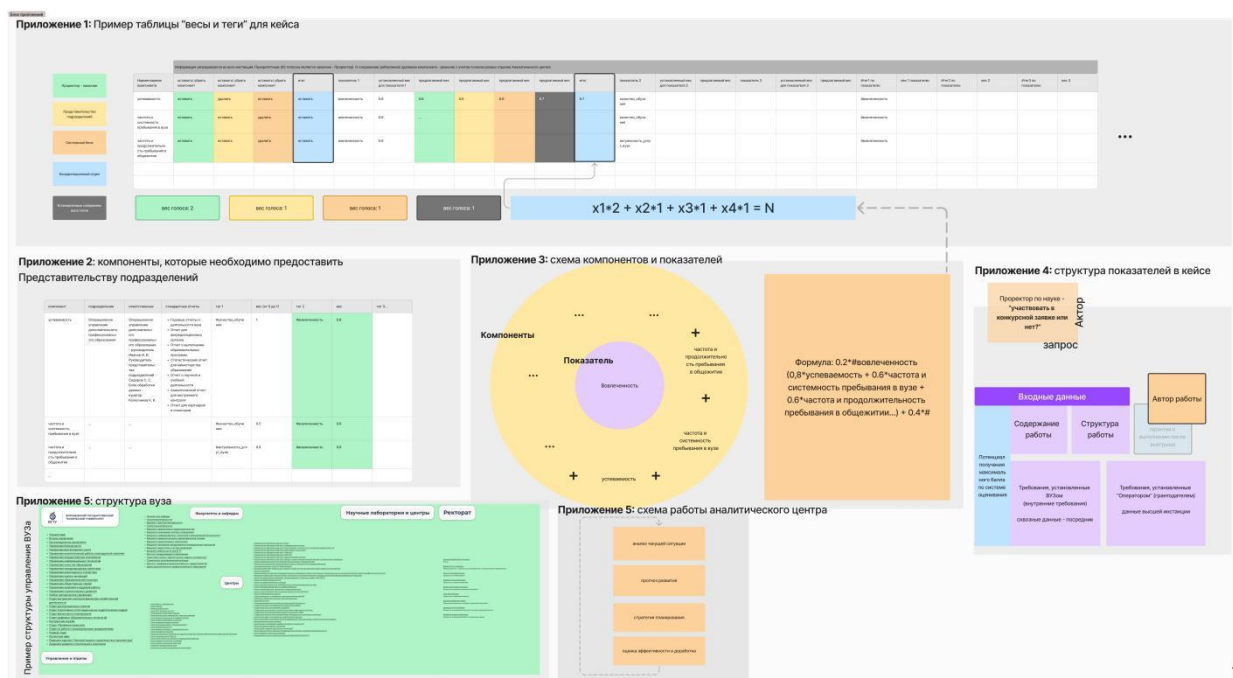


Рис. 2. Работа принципа компонентов и показателей для кейса

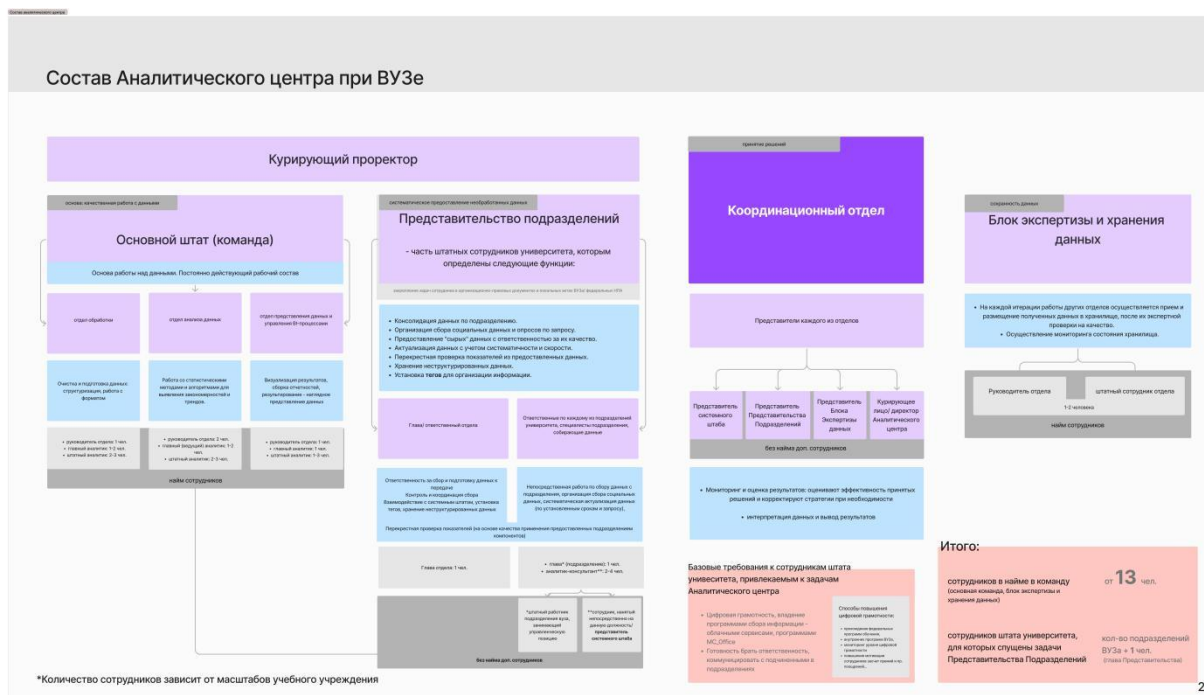


Рис. 3. Состав Аналитического центра при вузе

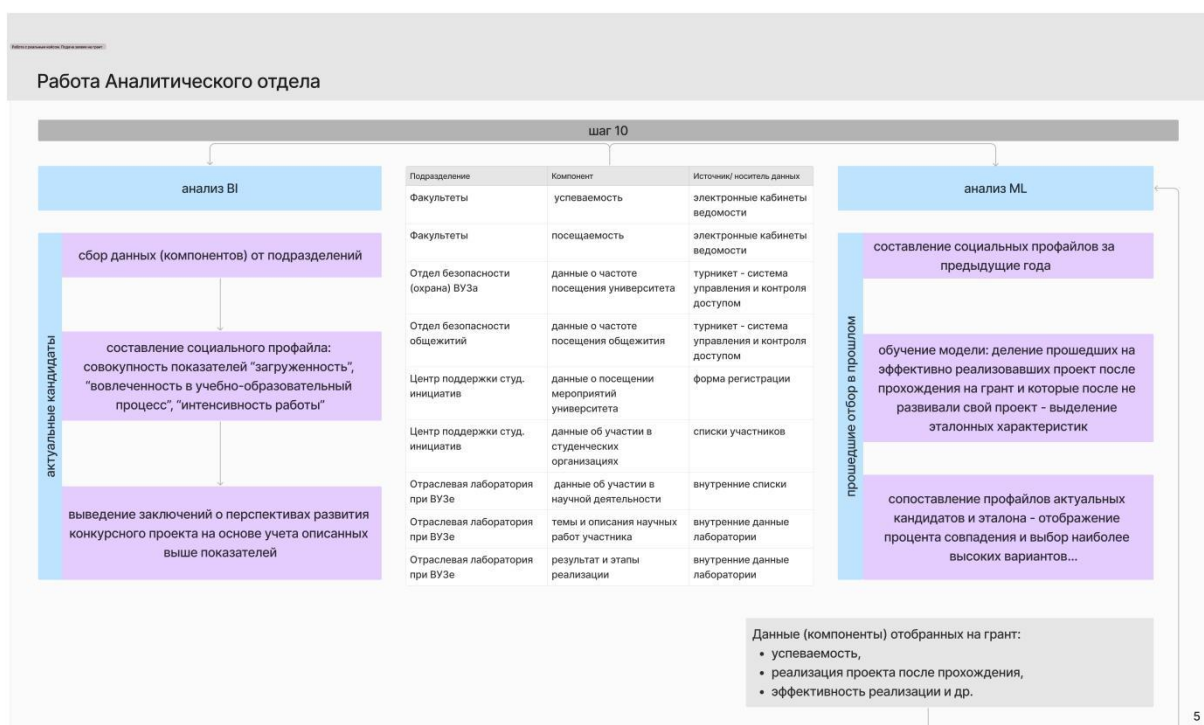


Рис. 4. Методика работы Аналитического отдела

Так, предписывающая аналитика позволяет не только оценить текущее состояние, но и спрогнозировать вероятность успешной реализации проекта. В ходе машинного обучения рекомендуется использовать исторические данные о предыдущих грантополучателях для выявления эталонных характеристик успешных исследователей и сопоставления с ними профилей текущих кандидатов.

По прогнозу, это решение может показать значительное повышение эффективности отбора: с 40% успешно реализованных проектов при традиционном подходе до 67% при запуске аналитического центра. Более подробное разъяснение работы системы указано в прилагаемых схематических материалах - подробнее на рисунке 5.

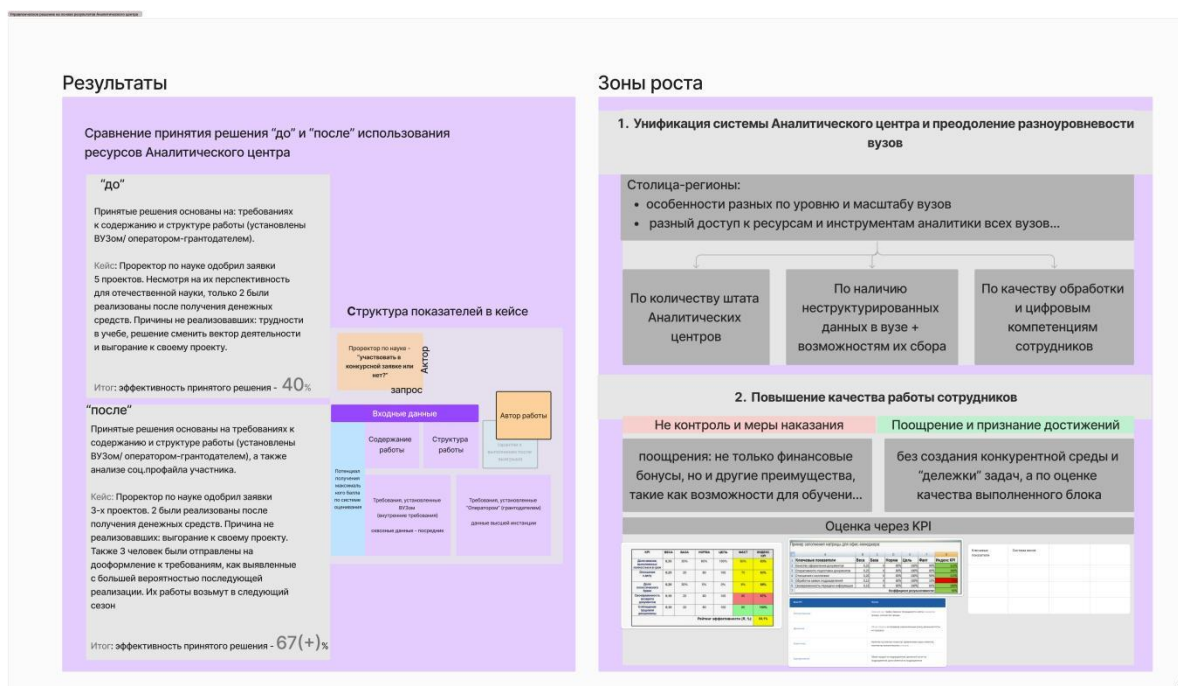


Рис. 5. Прогнозы эффективности внедрения методологии в кейс

Второй пример рассматривает внедрение системы Аналитического центра в формировании водно-зеленого городского каркаса (ВЗГК) в масштабе города. Для тематической адаптации обозначим его как Центр компетенций по управлению городскими данными.

Согласно кейсу, имеем запрос: необходимо обосновать присвоение статуса элемента ВЗГК зеленому парковому пространству, а также установить охранный режим как для самого парка, так и для цепи скверов, образующих "зеленый коридор", защищающий городскую ткань от массово й точечной жилой и коммерческой застройки.

Текущая ситуация в принятии решений по работе с территориями включает проблему: при формировании ВЗГК наблюдается разрыв между концептуальным или теоретическим пониманием каркаса как единой системы и фрагментированным правовым аппаратом регулирования зеленых городских территорий (подробное изучение темы содержится в личной КР за 3 курс НИУ ВШЭ) [2]. Предлагаемая же модель Аналитического центра собирает, обрабатывает разрозненные данные, формируя из них обоснование для принятия стратегического градостроительного решения.

Аналитический центр подготавливает данные для государственных градостроительных институтов и ЛПР в данной области - гипотеза состоит в том, чтобы подготовить для определенного пространства его "цифровой профиль", который будет содержать характеристики для оценки потенциала и эффективности разных вариантов градостроительных решений.

Координационный отдел получает запрос и формулирует гипотезу. Далее происходит сбор разрозненных данных от держателей. В данном случае ими выступают как те, кто изначально владеет отраслевой информацией, так и специалисты определенные для каждого из подразделений (с представителями-проводниками): правовой (НПА, СНИПы, СП и проч., локальные акты), экологический (данные температуры, уровня шума и др.), градостроительный/ пространственный (как данные ГИС-систем, так и городские данные, сформированные пользователями: велотреки), социальный (состав жителей, опросы, данные с вышек сотовой связи, комментарии и отзывы и др.), исторический (архивные карты, ретроспективные фотографии, воспоминания жителей и данные музеев) и экономический (статьи расходов на благоустройство и градостроительную деятельность, финансовые модели девелоперских проектов и др.). По аналогии с предыдущим кейсом каждые из этих данных является компонентом с тегами. Например, демографический состав населения района содержит теги #консервативность_изменений, #территориальная освоенность и др. По полученным данным вес консервативности для населения района высокий – 0,9, а по территориальной освоенности

дефицит количества жителей младше 50 лет составляет 0,3. Таким образом, происходит декомпозиция компонента на показатели для сведения в общую формулу, в которой доля самого тега на весь суммарный показатель $\#консервативность\_изменений = 0,4$, а $\#территориальная\ освоенность = 0,2$. Для второго варианта предварительного анализа предлагается разбивать запрос на сумму тегов, относящихся непосредственно к одному из подразделений (его данных). Вариант рассмотрен на рисунке 6. После свертки, как и в случае с вузами курирующее лицо/ отдел формирует предложения (гипотезы) с обоснованием формулы.

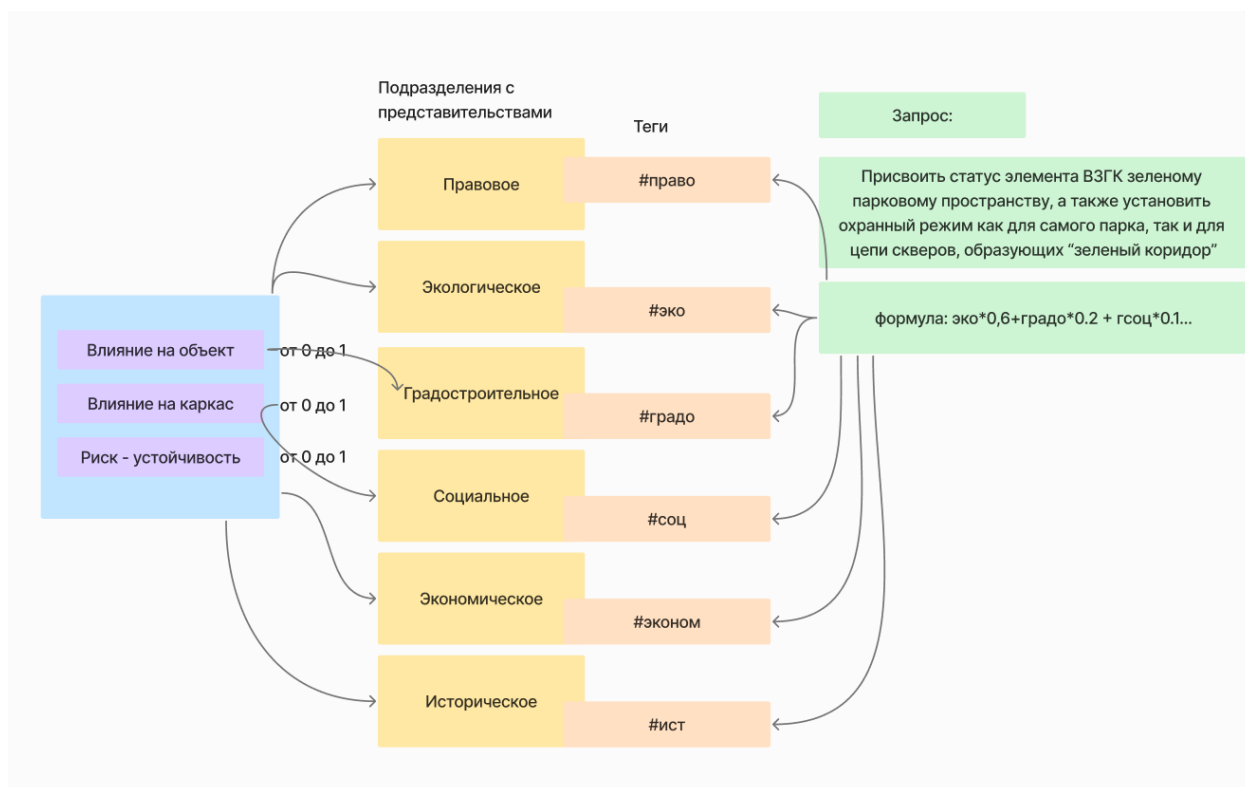


Рис. 6. Вариант 2 применения принципа “компонентов и показателей”

Перед заключением статьи обозначу рекомендации по технологическим решениям для Аналитических центров. Работа центра строится на микросервисной архитектуре, которая позволяет создать масштабируемую модульную систему с отдельными сервисами сбора данных, их анализа, визуализации и управления пользователями. Основная причина выбора микросервисной архитектуры - ее гибкость и возможность развития отдельных компонентов системы. Архитектура обработки данных строится на подходе ELT, который позволяет работать с большими объемами информации при гибридной системе Data Lakehouse или альтернативной Data Lake. Модули сбора рассматриваются на двух уровнях: А (CRM-система) и В (ERP-система "1С: ERP Управление предприятием") [3, 4].

Подробное описание представлено на рисунке 7.

Помимо описанных преимуществ, создание аналитических центров содержит несколько проблемных зон:

- финансовая. Она выражена в высокой стоимости внедрения, включающей закупку программного оборудования, затраты на привлечение и оплату персонала аналитического отдела и адаптацию предписанных процессов;
- дефицит квалифицированных кадров для задач анализа данных;
- ограничения в доступности данных и нормативных ограничениях по защите персональных данных.

Предлагаемая организационная модель, основанная на принципах специализации отделов, систематизации данных через компоненты и показатели, а также применении методов

комплексного анализа, имеет потенциал стать эффективным инструментом для повышения качества принятия отраслевых решений ЛПР.

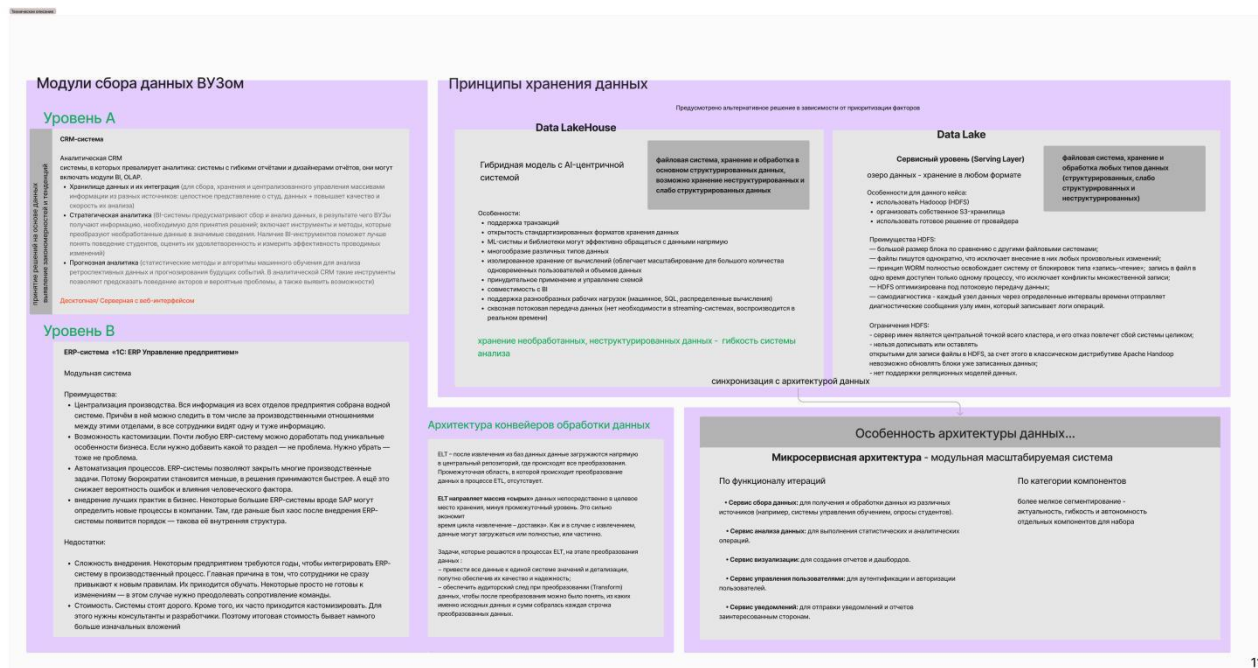


Рис. 7. Технические особенности организации работы Аналитического центра

Основными преимуществами от внедрения аналитических центров являются: централизация разрозненных данных, повышение качества принимаемых управленческих решений, снижение рисков при распределении ресурсов и прогнозирование ключевых изменений в отрасли. Практические примеры демонстрируют возможность достижения измеримых улучшений в эффективности ключевых процессов.

Дальнейшее развитие методологии должно включать ее детальную адаптацию к конкретной отрасли и среде в которой она действует. Только в таком случае возможно организовать ее эффективную работу.

Список использованных источников

- Корнеев А.А., Шилов В.В. DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dataliteracy.ru/dmbok> (дата обращения: 26.07.2025).
- Козлова Е.Н. Оценка эффективности использования городских территорий // Экономика и управление. 2017. №. 8. С. 34-40.
- Петров А.Н., Сидоров В.Г. Математическое моделирование технологических процессов: учебное пособие. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibr.pnzgu.ru/files/eb/OOX16RKBwfNz.pdf> (дата обращения: 12.08.2025).
- Коллектив авторов Tatvasoft. Enterprise Application Architecture: A Practical Guide and Its Types. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tatvasoft.com/outsourcing/2022/10/enterprise-application-architecture.html> (дата обращения: 10.08.2025).

УДК 330.341.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Грицик М.О. (студент, ИТМО), **Най Б.Е.** (аспирант, ИТМО)

Научный руководитель: д.э.н., профессор, Сергеева И.Г. (ИТМО)

e-mail: matthew@itmo.ru, nai_bogdan@itmo.ru

В статье исследуются этапы развития технологий искусственного интеллекта в организациях высшего образования, а также процесс трансфера технологий. Описаны роль офисов трансфера технологий и бизнес-инкубаторов и этапы процесса трансфера технологий искусственного интеллекта в организациях высшего образования. В результате чего были даны практические рекомендации реализации процесса трансфера технологий искусственного интеллекта в организациях высшего образования.

Ключевые слова: *трансфер технологий, искусственный интеллект, организации высшего образования, экономический рост, инновационная деятельность.*

Внедрение технологий искусственного интеллекта стало ключевым фактором конкурентной борьбы в большинстве отраслей экономики. С одной стороны, технологии искусственного интеллекта генерируют существенную добавочную стоимость продуктов бизнеса, а с другой стороны являются инструментом оптимизации бизнес-процессов компаний, значительно снижающим операционные издержки. По оценкам института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ экономический эффект от внедрения технологий искусственного интеллекта в России составит 11,6 триллионов рублей к 2030 году и 46,5 триллионов рублей в 2035 году [1]. Это исследование коррелирует с общемировыми тенденциями реализации программ развития искусственного интеллекта и говорит о том, что технологии искусственного интеллекта являются приоритетной областью инновационного развития и ключевым фактором экономического роста.

Одними из важнейших катализаторов развития технологий искусственного интеллекта являются организации высшего образования как поставщики знаний в различных формах в экономике. Университеты способны осуществлять ресурсозатратный междисциплинарный подход в процессе создания новых технологий, поэтому в эпоху «Индустрии 4.0» роль организаций высшего образования в процессе коммерциализации инноваций становится еще более критической для экономического роста. Развитие технологий искусственного интеллекта в университетах обеспечивает устойчивое экономическое развитие бизнеса в регионе и национальной экономики в целом [2].

Ключевым механизмом развития технологий искусственного интеллекта является процесс трансфера технологий, который способствует передачи в какой-либо форме знания от академического сообщества организации высшего образования представителям бизнеса. В данном случае обеспечивается разделение компетенций при создании технологий искусственного интеллекта и при ее внедрении на рынок, что обуславливает наиболее эффективный и ускоренный подход развития технологий искусственного интеллекта. Таким образом, целью настоящего исследования является расширение теоретических представлений, а также формирование практических рекомендаций по вопросам процесса трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования.

Процесс развития технологий искусственного интеллекта состоит из трех последовательных этапов: создание результата интеллектуальной деятельности, воплощение РИД как продукта рынка технологий, внедрение технологии в бизнесе. При этом первые два этапа осуществляются в рамках научно-исследовательской и инновационной инфраструктуры организаций высшего образования, в то же время последний этап осуществляется бизнесом с целью создания продукта или усовершенствования определенного бизнес-процесса. Взаимосвязь всех трех этапов обеспечивается реализацией процесса трансфера технологий, при котором технология искусственного интеллекта передается от научно-педагогического

состава или обучающихся представителям бизнеса за счет содействия промежуточных агентов, обеспечивающих соблюдение интересов всех участников трансфера технологий [3].

Роль агентов, связывающих интересы науки и бизнеса, в университетах выполняют офисы трансфера технологий – структурные единицы, целью которых является формирование стратегии коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности. Одновременно с этим в организациях высшего образования существуют бизнес-инкубаторы, которые обеспечивают авторов готовых продуктовых решений на основе искусственного интеллекта информационными, техническими и финансовыми ресурсами с целью развития бизнеса. Офисы трансфера технологий и бизнес-инкубаторы являются имманентными компонентами реализации процесса трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования, так как они обеспечивают конгруэнтность интересов авторов результатов интеллектуальной деятельности и представителей бизнеса [4].

Реализация процесса трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования требует преобразования научного знания в готовое бизнес-решение. Этот процесс, согласно Всемирной организации интеллектуальной собственности, состоит из 6 этапов [5]. Первый этап трансфера технологий, который заключается в выявлении и раскрытии результатов интеллектуальной деятельности в университете, обуславливает окончание первого этапа развития технологий искусственного интеллекта. Авторы из академического сектора передают результаты своей научной деятельности центрам трансфера технологий или бизнес-инкубатором организаций высшего образования, которые иницируют второй этап трансфера технологий – оценку коммерческого потенциала и возможности правовой охраны РИД.

После этого начинается 3 и 4 этапы, где результаты интеллектуальной деятельности формируются как технологический продукт, для которых разрабатывается стратегия коммерциализации. При этом технологии искусственного интеллекта могут развиваться по модели технологического толчка («technology push»), когда потенциальный круг реципиентов технологии не определен и возникает необходимость создавать предпринимательский проект. А также по модели вытягивания спроса («market pull»), когда технологии искусственного интеллекта создаются под потребности определенных заказчиков. На 3 и 4 этапах осуществляется маркетинговое продвижение технологии, реализация которого является зоной ответственности офисов трансфера технологий и бизнес-инкубаторов университета.

Пятый этап процесса трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования характеризуется заключением соглашения о передачи технологии с представителями бизнеса. Этот этап трансфера технологий является окончанием второго этапа развития технологий искусственного интеллекта, а именно воплощения РИД в продукт рынка технологий. Шестой и последний этап процесса трансфера технологий, который заключается в оценке последствий передачи технологии, основывается на результатах внедрения инновации на основе искусственного интеллекта в бизнес.

Процесс трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования является не единственным, но ключевым процессом развития технологий искусственного интеллекта. Трансфер технологий соединяет научную и предпринимательскую деятельность, уделяя существенное внимание этапу создания технологии на основе результатов интеллектуальной деятельности. Визуализация процесса трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования представлена на рисунке.

Процесс трансфера технологий организаций высшего образования обладает рядом особенностей, обусловленных как спецификой технологий искусственного интеллекта, так и механизмами передачи технологий в университетах. В частности, начальный этап выявления РИД характеризуется необходимостью интеграции открытой и прозрачной для всех членов академического сообщества, предпринимательской культуры в университетах. Исследования показывают, что ограничения возникающие на этапе раскрытия потенциальной технологии связаны с намеренным избеганием авторов РИД университетских механизмов трансфера технологий, ввиду недоверия к вопросам распределения прав на объекты интеллектуальной

собственности и части прибыли от коммерциализуемой технологии. Кроме того, по данным исследователей более половины представителей академического сообщества Германии не знали о предпринимательских возможностях в университетах, что приводило к непреднамеренному избеганию использования механизма трансфера технологий. Формирование долгосрочных доверительных отношений между научными сотрудниками и офисами передачи технологий, а также реализация доступных и упрощенных процедур коммерциализации инноваций является необходимой составляющей эффективной реализации этапа выявления результатов интеллектуальной деятельности в рамках процесса трансфера технологий [5].

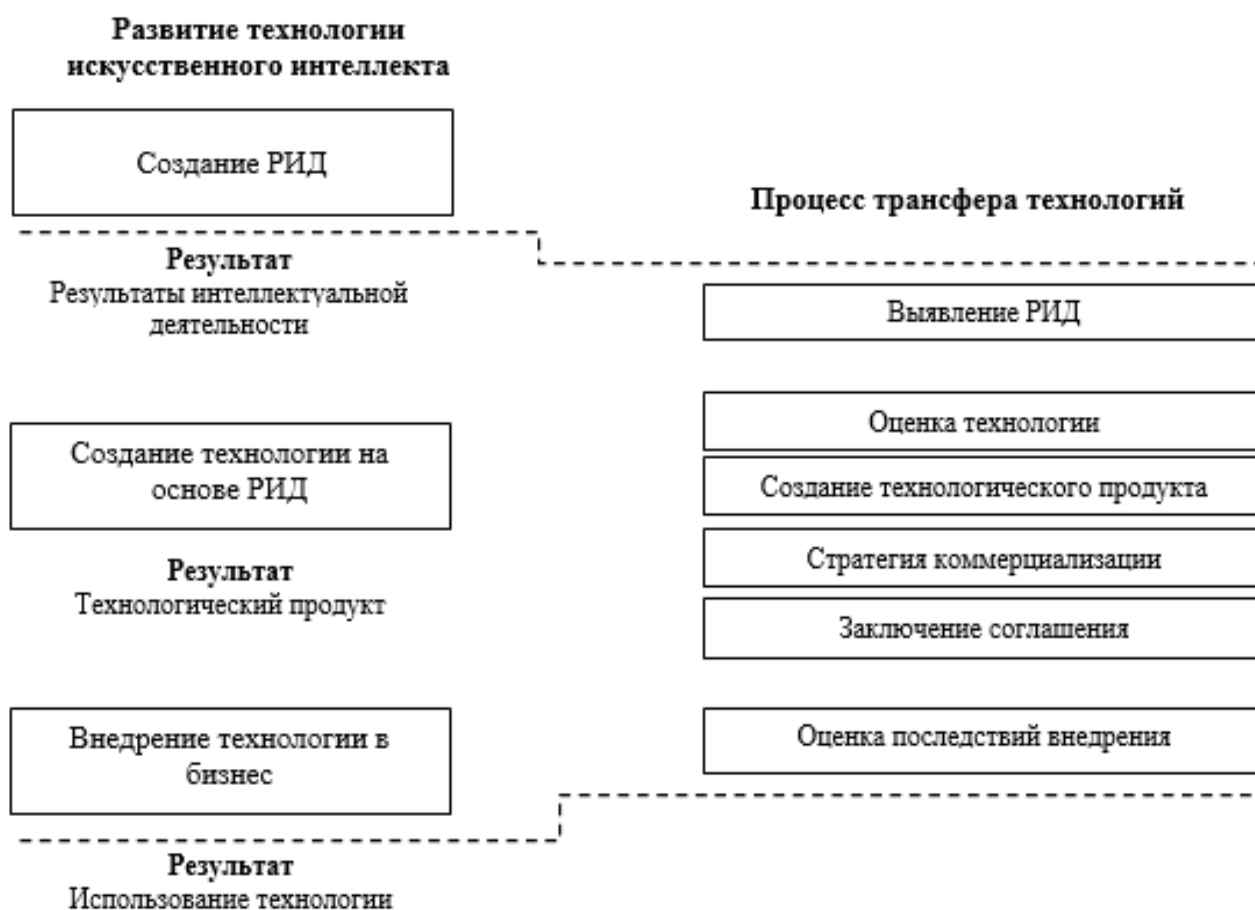


Рисунок. Процесс трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования

Оценку коммерческого потенциала, полученных в области искусственного интеллекта РИД, необходимо осуществлять, ориентируясь не только на экономический эффект, который технологии искусственного интеллекта могут генерировать для бизнеса, но и на влияние технологии на развитие науки и техники в целом. По данным отчета технологических тенденций McKinsey за 2025 год внедрение искусственного интеллекта является драйвером технологического развития многих отраслей экономики, например энергетики или биоинженерии, а также трансформации социальных отношений типа «человек-машина», например, в области медицины или транспорта [7]. Оценка охраноспособности объектов интеллектуальной собственности в области искусственного интеллекта также имеет определённые особенности, которые заключаются в том, что технологии ИИ не являются самостоятельным объектом интеллектуальной собственности и могут относиться к объектам как авторских, так и патентных прав [8].

Этап подготовки технологического продукта в области технологий искусственного интеллекта характеризуется поиском потенциальных реципиентов технологии из бизнеса, где существует потребность в использовании технологий искусственного интеллекта для создания

инновационного продукта или усовершенствования бизнес-процесса, а также поиском венчурных инвесторов или бизнес-ангелов, готовых профинансировать создание предпринимательского проекта, в основе которого лежит инновационный продукт в области искусственного интеллекта. При этом эксперты прогнозируют, что технологии искусственного интеллекта значительно трансформируют многие отрасли экономики и сферы жизни, что значительно расширяет круг бизнес-партнёров в рамках трансфера технологий [1, 7].

Трансфер технологий искусственного интеллекта в организациях высшего образования может осуществляться путем заключения лицензионного договора или создания малого инновационного бизнеса. Заключение лицензионного договора предусматривает передачу прав на использование технологии в форме простой или исключительной лицензии представителям бизнеса. Создание малого инновационного бизнеса позволяет осуществлять предпринимательскую деятельность на базе технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования. Лицензирование технологии в краткосрочной перспективе обеспечит университет наибольшей доходностью за счет получения роялти и передачи этапа внедрения технологии. Однако в долгосрочной перспективе создание кластера малых технологических предприятий, как например в Стэнфорде или MIT, существенно увеличит инновационный потенциал организации высшего образования, как и доходы от инновационной деятельности.

В процессе заключения соглашения о передачи технологий в бизнес достигается договоренность по вопросам распределения прав на объекты интеллектуальной собственности, а также доходов от используемой технологии. Источником появления технологий искусственного интеллекта в организациях высшего образования являются как человеческий капитал, так и материально-техническая база самого университета, поэтому в большинстве случаев владельцем исключительных прав на изобретение выступают организации высшего образования. Доход от продажи технологического продукта получают организации высшего образования, выплачивая авторам РИД определенный процент [9].

В рамках заключительного этапа процесса трансфера технологий искусственного интеллекта контролируется выполнение условий распределения получаемых доходов и оцениваются социальные и экономические эффекты внедрения технологий искусственного интеллекта на рынок. Стоит отметить, что оценка последствий внедрения технологий искусственного интеллекта является важной предпосылкой формирования инновационной стратегии организаций высшего образования. Эффективная реализация данного этапа возможна при построении сети партнёрств с участниками инновационной экосистемы, при которой формируется углубленное понимание технологических потребностей различных представителей бизнеса.

Практические рекомендации по реализации этапов трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования представлены в таблице.

Таким образом, процесс трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования может осуществляться в двух формах: передачей технологии стороннему и дочернему бизнесу. Эффективная реализация процесса трансфера технологий требует понимания технологических тенденций развития искусственного интеллекта, а также особенностей осуществления инновационной и предпринимательской деятельности в организациях высшего образования.

Таблица. Практические по реализации трансфера технологий искусственного интеллекта организаций высшего образования

Этап трансфера технологий	Практические рекомендации по реализации этапов процесса трансфера технологий
Выявление РИД	Развитие предпринимательской культуры с целью построения доверительных отношений между авторами исследователей и администрацией университетов, а также упрощения процедур коммерциализации инноваций
Оценка технологии	Оценка коммерческого эффекта, а также социально-экономических последствий внедрения технологий искусственного интеллекта на различные отрасли экономики и сферы деятельности человека. Особое внимание правовой охране искусственного интеллекта как объекту смежных прав
Создание технологического продукта	Поиск потенциальных реципиентов и инвесторов технологий искусственного интеллекта в различных отраслях экономики
Стратегия коммерциализации	Заключение лицензионного договора в случае развития технологии искусственного интеллекта на базе существующей потребности в бизнесе, а также создание спин-оффа на основе технологий искусственного интеллекта при создании нового продукта
Заключение соглашения	Реализация справедливого подхода в распределении прав на объекты интеллектуальной собственности и доходы от внедрения технологий искусственного интеллекта
Оценка последствий внедрения технологии	Создание сети партнерств науки и бизнеса с целью получения доступа к актуальным рыночным запросам в области технологий искусственного интеллекта

Список использованных источников

1. Официальный сайт института социальных исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://issek.hse.ru/news/1022068478.html> (дата обращения: 10.09.2025).
2. Альхазалех Р., Микониатис К., Алахмер А. The Success of Technology Transfer in the Industry 4.0 Era: A Systematic Literature Review // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2022. DOI: 10.3390/joitmc8040202.
3. Гранж Л.И., Байс А. A review of technology transfer mechanisms // The South African Journal of Industrial Engineering. 2002. №. 1. Pp. 81–95.
4. Гуд М., Нокаерт М., Соппе Р., Райт М. The technology transfer ecosystem in academia. An organizational design perspective // Technovation. 2019. №. 1. Pp. 35–50.
5. Официальный сайт WIPO.com. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wipo.int/en/web/technology-transfer> (дата обращения: 10.09.2025).
6. Халилем М., Диоп Б. «Meet me at the backdoor»: A multiple case study of academic entrepreneurs bypassing their technology transfer offices // Research policy. 2025. DOI: 10.1016/j.respol.2024.105156.
7. Официальный сайт консалтинговой компании McKinsey & Company. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech> (дата обращения: 11.09.2025).
8. Медведев А.И. Правовые аспекты искусственного интеллекта и смежных технологий // Журнал Суда по интеллектуальным правам. 2022. №. 4(38). С. 48–63.
9. Най Б.Е., Сергеева И.Г. Взаимодействие университета и бизнеса в процессе инновационной деятельности // Материалы XXIII международной научно-практической конференции "Менеджмент XXI века: консолидация усилий в интересах развития российского общества. 2025. №. 1. С. 41–47.

NEW APPROACHES TO CONSUMER BEHAVIOUR STUDIES FROM CLASSICAL

UDK 339.138

INTEGRATING DATA-DRIVEN AND BEHAVIOR-DRIVEN APPROACHES TO ACHIEVE TRUE PRODUCT MARKET FIT

Gritsik M.O. (student, ITMO University), **Nai B.E.** (PhD student, ITMO University)

Supervisor: Senior Lecturer, Gorgadze A.A. (ITMO University)

e-mail: matthew@itmo.ru

This paper proposes viewing marketing through the lens of a behavior-driven approach as analysis of inner motivations and desires, often unconscious to users themselves. The article demonstrates that combining data-driven and behavior-driven approaches enables achieving true product-market fit—a state where a product becomes not simply necessary but a natural part of a customer's behavioral patterns. The paper concludes with the need to develop behavioral thinking as a new cognitive framework for product marketing, in which technology serves not as a substitute, but as an expansion of product marketing tools based on human empathy.

Keywords: *data-driven approach, behavioral-driven analysis, product market fit, behavioral marketing, behavioral thinking, behavioral-driven approach, product–market fit, consumer psychology, innovative products.*

Numerous studies on innovative solutions development note that most fail at the market entry stage. According to Harvard Business School, approximately 75% of venture-backed companies fail to return capital to investors, and an analysis by the «CB Insights» found that in 42% of cases, the main reason for innovative solutions is the lack of a real market need for the product solution underlying the startup's business model [1, 2]. The key problem with most innovative solutions lies not in their technical execution, but in the mismatch between the idea and the actual user need. This disconnect between the product and genuine consumer need is described by the term «Product-market fit» (PMF) — the moment when a product aligns with the actual behavior and motivations of consumers, creating natural demand without external pressure [3].

The problem is based on the lack of real need for the product («no market need»). There may be a combination of various reasons, from financial missteps to managerial inexperience. However, one of the most common and least recognized reasons for the absence of PMF is excessive missionary thinking, which describes an extreme case where the team becomes hostage to its own belief in the product. In this case, it is not about talking about healthy inspiration, as Marty Kagan writes about in his book: «Inspired», but about a state when faith in an idea overshadows the actual perception of the market. The author warned: «If you're going to fall in love, fall in love with the problem, not the solution» [p. 174, 4]. Excessive missionary work is often accompanied by confirmation bias, when the team sees only data that supports its belief in the correctness of the product development strategy, which was described in detail by D. Kahneman and A. Tversky in «Prospect theory» [p. 263, 5].

Excessive missionary work is most often the result of a superficial study of the behavior of a product's target audience, where the results of target audience research include only an analysis of consumer actions, rather than an examination of the factors that influenced and led to these actions. However, actions often fail to reflect users' deepest pains and desires. Actions reflect consumers' most basic conscious motives. Today, rapid technological advances are changing not only business models but also the motives, values, and needs of users and their decision-making processes. Therefore, target audience analysis methods must also evolve. In other words, advances in needs require advances in tools for identifying and addressing them: technology should not replace empathy marketing tools, but rather enhance them, so that product marketing more accurately targets people. Therefore, to create relevant market solutions, traditional and familiar methods of target audience analysis are no longer sufficient. Today, businesses need analysis that focuses not on words or actions, but on what generates them — deep human motives, needs, and desires, often unaware of by users themselves.

The aim of this paper is to explore methods for in-depth analysis of user behavioral habits in the context of combining familiar and traditional data-driven and behavior-driven analysis, as well as to study the role of these tools in achieving true product-market fit.

A data-driven approach refers to decision-making based on the analysis of traces and results of user actions: clicks, views, purchases, routes, bounces, and other quantitative data. Implementing a data-driven approach allows us to research what has already happened, rather than why it happened, which is no longer sufficient in the context of technological and cultural progress [6].

The idea of developing target audience analysis tools is formulated by F. Kotlerov in his book «Marketing 5.0: Technology for Humanity». The author emphasizes that future technologies are not intended to replace people, they are intended to expand human capabilities and help companies better empathize with and serve customers [p. 50, 7].

This approach should be used not only when creating the idea for the innovative solution itself, but also at other stages of the product development life cycle: when segmenting the target audience, when positioning, when forming a value proposition or unique selling proposition (USP).

This drives the development of behavior-driven approach—a set of principles and tools aimed at analyzing the underlying motives, context, needs, and behavior patterns of product users. Behavior-driven approaches identify real pain points, needs, wants, and desires in order to design a product around the «why», not just the «what».

It's important not to contrast the approaches described in this article, but to combine them. A data-driven approach answers the question «what is happening», while a behavior-driven approach answers the question «why and how is this happening». Together, they provide a holistic picture: data helps detect patterns and scale insights, while behavioral analysis allows for understanding them and turning them into product design [7]. In the article «The Human Side of Data-Driven Marketing». It is noted that the best marketing strategies today combine quantitative analysis with an empathetic understanding of consumer behavior. These are not opposing approaches, but two halves of a single system. It is the combination of data-driven and behavior-driven approaches that is key to understanding what people really want and achieving true product-market fit — a state, when a product not only satisfies demand, but shapes it, based on the deep behavioral foundations of human decisions [8].

However, a simple identification of consumer behavior principles is only the first step in creating a market demand for a product solution. The real challenge is to transform this knowledge into a system of specific methods and solutions that can be applied in real-world marketing.

The data-driven approach has a clearly defined infrastructure of tools: A/B testing, cohort analysis, RFM models, customer and user journey maps (CJM) and (UJM), heat maps, conversion and funnel analytics, etc. These tools allow to accurately record what the user does or has done, and optimize the product based on received data.

Behavior-driven approach is not always some abstract idea, it is also characterized by a vast ecosystem of methods, concepts, and tools that allow to analyze why people act the way they do, and how context, motivation, and cognitive biases shape their choices. In synergy with the data-driven approach, they create the basis for truly meaningful decisions that lead to true product-market fit.

Modern research confirms that this synthesis of data of empathy and behavior is becoming the key factor in product sustainability. The article «The Human Side of Data-Driven Marketing» states: «The best companies have learned to combine quantitative data with an intuitive understanding of human motivations—turning analytics into empathy» [8]. In practice, this means that the creation of a product solution relies on deep cognitive processes (emotional forecasting, predictive errors, implicit associations, the need for certainty, etc.), as well as on a data set that helps target, validate, and scale a set of marketing decisions based on the study of genuine human motives, desires, and emotions.

Behavior-driven approach originates from cognitive psychology and behavioral economics, and their application in product analytics allows for a more accurate identification of user motivation and product-market fit. The key methods of the behavior-driven approach are presented in the table [10, 11].

Table. Description of behavior-driven approach methods

Behavior-driven approach methods	Description of the method implementation	Practical implementation of the method
Affective forecasting	Predicting consumers' emotional reactions to a product, helping build increased consumer loyalty through A/B testing	Testing multiple versions of a product for conversion and the gap between user expectations and the final experience in order to develop the most sought-after consumer properties of the product
Implicit association test	Measuring the unconscious emotional-semantic attitude towards a business brand using a special test	Selecting the most preferred design elements based on best practices for associative user perception of the product
Reward prediction error	Defining and adjusting consumer expectations of a product through positive and negative feedback and measuring consumer reactions	Creating expectations in consumers (e.g., early delivery, added features) that enhance the consumer's emotional response and increase the likelihood of repeat purchases
Self-discrepancy theory	Identifying the discrepancy between the consumer's current self-perception and desired self-image through in-depth interviews	Forming a value proposition based on the image of the best version of the consumer, causing him to desire to get the product in order to get rid of emotional discomfort
Episodic future thinking	Visualization of various scenarios for consumer use of product properties, which forms an economic connection	Forming an early emotional attachment in the consumer to the future experience of interacting with the product, stimulating to purchase the product
Need for cognitive closure	Providing consumers with reliable information to reduce uncertainty in decision making	Improving the customer experience by empowering users to feel more in control and predictability in their lives and making decisions easier

Each of these tools reveals different aspects of human behavior — from cognitive biases to unconscious choice patterns. A behavior-driven approach allows us to see not only what the user does, but also why they do it—and therefore, to formulate solutions that not only respond to demand, but create it.

The methods listed above represent only a small part of the vast arsenal of behavioral tools. There are many more, and new ones are emerging at the intersection of psychology, neuroscience, cognitive psychology, behavioral economics, and data analysis. However, it is important not just to know the methods, but to think behaviorally.

It's about an ability to analyze the context of human behavior and the logic behind people's decisions and reactions. This is not developed from textbooks, but from observation, communication, experience, and constant interaction with users, teams, and the market. The concept of behavioral thinking transforms the behavioral approach from a set of techniques into a lens through which to view all aspects of a product: from concept to implementation and support. Behavioral thinking not just contribute to form product-market fit and to achieve authentic product-market fit (PMF), but to identify the moment when a product becomes part of everyday decisions, life scenarios, and the consumer themselves — thus creating a sustainable «behavioral fit» between idea and need. This allows companies to create innovative solutions that not only align with the market but also shape new consumer expectations.

Human behavior is not a variable, but a constant around which product thinking should be built. As Richard Thaler notes in *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*: «People don't always act rationally, but their irrationality is systematic and therefore predictable» [p. 23, 12]. This suggests that product design is not just about data-driven management but also about working with predictable variations in human behavior.

As BJ Fogg emphasizes in *Tiny Habits*: «When changing behavior, we must design not actions, but the context in which those actions naturally occur». This is the key principle of behavioral thinking: thinking in contexts and patterns, not in events and metrics. Behavioral thinking goes beyond observation and seeks to integrate research of human reactions directly into product decisions. Methods become not «magic tools», but merely a language for describing what is needed to do when designing interactions between consumer and system. Behavioral thinking contributes to recognize these processes, systematize them, and use them consciously and intentionally [p. 10, 13].

Behavioral thinking isn't about adding new steps to a process, but rather the ability to ask a question at every stage of the product lifecycle — from hypothesis formation and idea testing to retention and scaling — «How does innovative solution relate to human behavior, to real patterns of perception, motivation, and emotion?» This perspective allows for deeper insight. After all, creating an idea is just the beginning. Even if the idea is brilliant, its journey to the user is a chain of human interactions, in which the product's relevance and viability are determined. At every stage — from audience segmentation to building communications, from onboarding to support — the same logic applies: understanding behavior as the constructive force of a product. Thus, behavioral thinking is not an alternative to other approaches, but a superstructure above and within it, a way of transforming knowledge about a person into systemic practice.

The behavioral approach to product marketing is no longer just a theoretical framework, but rather a tool for analyzing customer's motives and decisions. It complements data-driven analytics where data is meaningless without interpretation, and statistics without empathy are incapable of explaining behavior. The modern market demands more than just precise figures, but analyzing the living structure of behavior, where a product becomes a natural part of everyday scenarios and forms its own niche in customer perception.

Behavioral thinking and its tools, combined with traditional approaches, allows to form not just the fit between product and market, but to identify the moment when a product becomes part of everyday decisions and life scenarios — thereby creating a sustainable «behavioral fit» between idea and need. This is what true product-market fit is all about: creating a match where the product and the customer develop together, reinforcing each other.

Behavioral analysis, its concept and relationship with traditional methods, must become not auxiliary, but central elements of product thinking, ensuring continuous empathy and scientific rigor at all stages of the product life cycle.

List of references

1. Harvard Business School Official Website. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hbs.edu/news/Pages/item.aspx?num=214> (date accessed: 10.09.2025).
2. Official website of the analytical company «CB Insight». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cbinsights.com/research/report/startup-failure-reasons-top/> (date accessed: 10.09.2025).
3. Horowitz B., *The Hard Thing About Hard Things*. — M: Myth.Business. 2020. P. 384.
4. Kagan M. *INSPIRED. How to Create Tech Products Customers Love*. — USA: John Wiley & Sons limited. 2018. P. 370.
5. Kahneman D., Tversky A., *Prospect Theory* // *Econometrica*. 1979. №. 1. Pp. 263–292.
6. Houn R. The Role of Data-driven insights in shaping economic decisions in marketing // *Journal of Management Information and Decision Science*. 2024. DOI: 10.4018/979-8-3373-2772-3.
7. Kotler F. *Marketing 5.0: Technology for Humanity*. M: Bombora. 2022. 244 p.
8. Aunger R., Curtis V., *Behaviour Centred Design: towards an applied science of behaviour change* // *Health Psychol Rev*. 2016. Pp. 425–446.
9. Harvard Business Review Official Website. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hbr.org/insight-center/data-driven-marketing> (date accessed: 12.09.2025).
10. Deng Y., Song D., Ni J. etc. Reward prediction error in learning-related behaviors // *Front Neurosci*. 2023. DOI: 10.3389/fnins.2023.1171612.
11. Biraglia A., Bowen K., Gerrath M. How need for closure and deal proneness shape consumers' freemium versus premium price choices // *Journal of Business Research*. 2022. Pp. 157–170.
12. Thaler R.H., Sunstein C.R. *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*. — New Haven, CT: Yale University Press. 2008. 293 p.
13. Fogg B.J. *Tiny Habits: The Small Changes That Change Everything*. — Boston: Houghton Mifflin Harcourt. 2020. 306 p.

UDK 366.14

DIGITAL TRANSFORMATION OF CONSUMER BEHAVIOR: SYNTHESIS OF CLASSICAL THEORIES AND UGC ANALYSIS

Diachkova A.A. (student, ITMO University), **Dubrovskaya M.A.** (student, ITMO University)

Supervisor: professor Kirshanova N.V. (ITMO University)

e-mail: diachkova_aa@mail.ru

Abstract. With the rapid advancement of digitalization, China's consumer market has transformed dramatically, and user behavior on streaming platforms such as Douyin and Bilibili is becoming increasingly interconnected. As traditional theories and models (TPB, TAM) fall short of capturing the complexity of behavior in this context, this article reflects on the evolution of digital consumer behavior from theory-driven research to data-driven research. With regard to user-generated content (UGC), we propose to interweave text mining, machine-learning, and sentiment analysis with classical theories. We consider the process of how UGC is used to understand consumer decisions, emotions, and value assessment, together with three case studies that span different platforms, and suggest methodological approaches that connect theory with practice.

Keywords: *consumer behavior, user-generated-content (UGC), streaming platforms, sentiment analysis, machine learning, theory of planned behavior, technology acceptance model, digital marketing.*

The digital age has led to a radical shift in China's consumer market. From being simply a medium for off-line behavior, online streaming platforms now account for 1.2 billion users and over 2.5 hours of daily use per user. The consumer now relies on mass information-seeking (during on-line information search) and mass decision-making by consuming user-generated content - reviews, short-form videos, and live streaming interactions - rather than simply brand messages [1]. However, there is a major offline/online gap between the research methods traditionally used in consumer behavior settings, and the information and decision-making dilemmas faced in today's digital consumer behavior. Classical theories and approaches have not adapted with the shift to a consumer-focused community of online, continuous interactions of shopping decisions influenced by short-form content that often relies on UGC while managed by brands [2]. The implications of this gap are two-fold: a gap in theoretical progress towards understanding digital consumer behavior, and a gap for scholars in advancing practice, while brands and platforms rely on the age of an economy that has embraced UGC to operate in the digital economy in China.

In the academic study of UGC and digital consumer behavior there are multiple scientific threads at play. Classical consumer behavior theory provides theoretical explanations of consumer decision-making by the Theory of Planned Behavior (Icek Ajzen), and proposes an extension of the Technology Acceptance Model (Fred Davis) to digital contexts, considering individual user assessment of trustworthiness related to UGC. Computational approaches utilize machine learning to assess UGC texts (Liu Yang, Van den Broeck Johan) while ethics research advances the knowledge base on algorithmic bias issues and privacy (Brent Mittelstadt, Wang Lei) [2]. This body of work is focused on the relationship between UGC and online behavior and also for brands to leverage that data while also considering risks to privacy. International studies examine the use of UGC on streaming platforms like Instagram, YouTube and Amazon for experiments and cross-cultural comparisons to illustrate that “authentic”, independent UGC influences greater purchase than brand-generated UGC or content.

Although valuable, the evidence from research on UGC in other markets is not directly transferrable to China's digital consumer behavior ecology. Core differences between promoting UGC on Chinese online platforms (e.g. Douyin) include their deep and complex integration with e-commerce (than TikTok/Instagram), monetization and income streams differ (60% of creators rely on posted live-streaming) “tips” in China, while 75% of UGC creators on Instagram rely on brand sponsorships) [3]. In addition, the censorship regime in China is stricter compared to international streaming platforms - marketers in China are not allowed to promote UGC that includes false advertising compared to western platforms that prioritize lighter moderation, allowing for more freedom and creativity in content on user-generated platforms. This means brands that operate

globally, and enter markets like China, have to adopt a different model than “celebrity endorsement” as shown on Instagram, generating exposure through KOL reviews are preferred by consumers: in fact, 73% of consumers trust KOL reviews about brands vs advertising [4, 5].

The China Internet Network Information Center (CNNIC) published its data in 2024. As Table 1 illustrates, these differences directly influence platform and content format choices and key consumer behavior drivers across the various industries.

Table 1. Industry-specific UGC characteristics and key influence factors

Industry	Dominant UGC Platform	Core UGC Format	Average UGC Duration	Key Influence Factor	Typical Outcome Metric
Beauty & Skincare	Xiaohongshu	“Before/after” tutorials, ingredient breakdowns	3–5 min	Ingredient transparency, skin-type matching	Product trial rate +40%
Catering & F&B	Douyin	Food showcase clips, store check-ins	15–30 sec	Visual appeal, viral “check-in” trends	Restaurant foot traffic +100%
Consumer Electronics	BiliBili	Technical reviews, performance benchmarks	10–20 min	Parameter accuracy, durability tests	Purchase decision speed -30%
Fashion & Apparel	Kuaishou	Live “try-on” sessions, size/fit demos	Real-time (1–2 hrs)	Size consistency, fabric feel	Return rate -25%
Home & Furniture	Xiaohongshu/BiliBili	Room makeover videos, assembly guides	5–12 min	Space adaptability, cost-effectiveness	Inquiry volume +60%

It highlights that users aged 18–35 account for 68% of streaming platform users. First-tier cities consist of cities such as Beijing and Shanghai, where users spend an average of 3.2 hours per day watching content. Users in third-tier and lower-tier cities spend an average of 2.1 hours per day watching content, which causes them to consume UGC differently. For example, for an 18-35-year-old user using streaming platforms, 42% of white-collar workers prefer professional review UGC on BiliBili when they are completing high-involvement purchases (like electronics), while 58% of students prefer short-video UGC on Douyin when completing low-involvement purchases (like snacks) [6]. When considering UGC by region, first-tier city users (Beijing/Shanghai) are more concerned with UGC around “sustainability” and “premium brands”, and third-tier city users (e.g., Chengdu, Wuhan) are more concerned with UGC around “cost-effectiveness” and “recommendations by local merchants”. This trend can be associated with disposable income per region (e.g., 2024 CNNIC supplementary data shows the average disposable income in first-tier cities is ¥78,000/year, while it is ¥45,000 in third-tier cities). Gender also drives preferences; for example, female users comprise 58% of streaming platform users and account for 72% of beauty/fashion UGC consumption on Xiaohongshu. Male users comprise 42% of these platforms and observe UGC around technology and product review on BiliBili at an even higher rate (65% of tech) [7].

Taking Douyin as an example, of all Daily Active Users (DAU), high-frequency interactive users (those who comment, see or favorite more than 5 times per user) account for approximately 15% of users. The UGC generated from this group of users has 3 times greater influence on all other consumers in their purchase decision-making process than ordinary users. Lower-frequency interactive users (fewer than one a day) account for 45% and primarily act as UGC passengers, with their consumption behavior directed by content from users in the high-frequency interactive category.

There are existing solutions to study digital consumer behavior that can be categorized into 3 greatly different approaches. While adaptations of classical theories enhance models like TAM or TPB with variables specific to digital platforms, like trust of UGC or interactivity of the platform, the aim is to encourage future study in a digital context while retaining the assumptions of classical theories [8, 9]. Descriptive UGC approaches use themes and sentiment analysis and then examine observable patterns in

UGC and their association to consumption behavior metrics, including purchasing rate, and while useful, these approaches do not engage theoretical frameworks outside of posting behavior on digital platforms [10]. Computational predictive models employ machine learning algorithms (e.g., random forests and neural networks) to forecast consumer behavior through UGC. These approaches have a high degree of prediction accuracy (i.e., 70%) but they treat the machine learning algorithm as a “black box” without much theoretical discussion. For instance, in this study the random forest model predicts user purchase intent using 12 UGC features (e.g., sentiment score, length of comments, share rate) and 8 user features (e.g., user age, purchasing history) trained on a data set of 500,000 Douyin UGC entries from January to March 2024. While the baseline accuracy is useful, validation metrics suggest that the model has 87% precision and 85% recall—an important distinction is not misclassifying a ‘neutral-negative comment’ (e.g., “the product works, but it is overpriced”) [11]. To mitigate any data limitations, we note that UGC originated from public APIs of the platform (e.g., Douyin API accessed February 2024), while private messages or personal interactions were excluded (typically 15% of the total UGC, defined as the measure) [11].

Each approach has advantages and drawbacks. Classical theory adaptation studies, while in line with classical theory and descriptive UGC approaches, afforded clear method and path for hypothesis testing but did not build UGC variables into the core logic of their models (i.e., plugins) and were not adept at capturing live-running UGC. Descriptive UGC approaches can be easier to implement across digital platforms, but provide correlational data only and often omit unstructured data like imagery and video without user-generated emotions, and do not develop validity or reliability analytics [12]. Computational prediction models are good at processing large scale UGC data in a timely manner and achieving an acceptable degree of predictive accuracy, frequently exceeding a threshold of 70%, but they do not offer insight into the transparency of their models, can overfit based on platforms or models and do not consider ethical implications regarding user privacy [13].

In China, ethical risk/concerns in addressing UGC variables and data requires navigating a strict regulatory environment. Table 2 depicts the primary risks and mitigation strategies for working with user content.; for example, (Article 28) of the Personal Information Protection Law (2021) requires that personal identifiers of collecting UGC (e.g., usernames, IP addresses), may not associated with UGC, anonymized within 72 hours, and platform specific (e.g., Douyin’s 2024 UGC Data Usage Policy) purposes does not permit to collect any “normal” passage for user profiling without a user’s consent (i.e., user profile privacy). To mitigate algorithm bias, a balanced dataset represented equal users from different city tiers, while with predictive accuracy reduced to 8% from 20% over three months.

The research holds significance theoretically by contributing to the application of computational methods alongside classical frameworks to address the lack of consumer behavior theories in the digital context. We demonstrate this in our UGC sentiment analysis, combining sentiment analysis with the AIDA model allows us to quantify the UGC efficiency in driving consumer behavior through each of the Attention, Interest, Desire, and Action stages; thus, making classical theories relevant in the digital era [14].

Practically, the UGC findings provide real-world guidance for brands and platforms. Brands (like the beauty brand above) can update their marketing strategies to better reflect UGC sentiment, and platforms can optimize the user engagement experience by using algorithms to recommend relevant UGC.

As an example of the brand implementation, they took the following three steps to address UGC sentiment: first, scrape 10,000 Xiaohongshu beauty UGC posts (February 2024) and analyze them using LDA topic modelling. They noticed ‘sensitive skin suitability’ was one of the under-fulfilled user demands (38% of negative comments). Second, they reformulated the flagship serum to add hyaluronic acid and remove alcohol to address sensitive skin. Third, they engaged 50 micro-KOLs (10k-50k followers) to post UGC testing the new “sensitive skin” formulation. They tagged the new product so that users would understand the reformulated product was the focus of the sensitivities test. They then followed up to see the user’s sentiment towards the brand UGC go from 62% to 89% and commercial sales increase by 50% over three months [15].

Table 2. Ethical risk mitigation strategies for UGC data usage

Ethical Risk Type	Regulatory Requirement (China)	Mitigation Strategy	Implementation Example
User Privacy Violation	Article 28 of Personal Information Protection Law (anonymize identifiers within 72hrs)	Remove usernames/IPs; use “pseudonymization” for user profiles	Replace “User12345 (Beijing)” with “User X (first-tier city)”
Algorithmic Bias	Implicit requirement in Algorithm Governance Measures (fairness in recommendation)	Use balanced datasets; conduct quarterly bias audits	Ensure 20% of training data comes from third-tier+ cities (matching national user distribution)
Misuse of Private UGC	Douyin/Xiaohongshu API Rules (only public UGC accessible)	Filter out private content (e.g., password-protected posts); obtain written consent for semi-public UGC	Exclude UGC marked “visible only to friends” from analysis
False UGC Misclassification	State Administration for Market Regulation (ban on misleading UGC)	Cross-verify UGC with brand official data; flag “unverified claims”	Mark UGC like “this product cures acne” as “unverified” unless supported by brand certifications

The traditional consumer behavior models such as TPB, TAM, and AIDA forms the foundational logic of early analysis of digital consumption behavior, by finding key drivers of consumption behavior action with structures like ease of platform usage or exposure to advertisements. Nevertheless, traditional models present constraints with multi-faceted digital constructs (TPB and TAM models for example are built on largely stable measurement instrument which can't capture temporally changing social opinions on user-generated-content platforms). TAM also struggles to capture impulsive consumer behavior during mobile consumption spurred by the live-hosting engagement with users.

Traditional methods also focus on structured data from questionnaires or interviews. However, 80% of platform data is unstructured in nature (as text, images, and video) with some of the richest reflections of brand sentiment and emotional preference hidden in UGC data. To clarify these distinctions, we present a comparison in Table 3 of qualitative analysis in traditional consumer behavior models with digital data-driven analysis to better illustrate the differences. Traditional approaches are focused around theory testing using structured surveys or interviews that are analyzed through regression or structural equation modeling around a cross-sectional time horizon. Their strength lies in high levels of theoretical rigor; however, they are poorly suited to analyze digital scenario with complex and dynamic formats and patterns. For example, digital data-driven approaches expand our knowledge of human consumption behavior by integrating unstructured UGC data such as text, images, and videos, and utilizing text mining, machine learning, and sentiment analysis methods for longitudinal analysis. Digital data-driven approaches have high levels of ecological validity and provide timely estimates but have potential ethical modelling concerns.

The innovations in data-led and computational methods have resolved limitations through four main data-driven technologies. Text Mining relies on Natural Language Processing of Unrepresented User Generated Content (UGC) to collect key insights from the UGC, such as the task of topic modeling using LDA that proves to identify demand themes at over 85% accuracy [16]. Likewise, machine learning algorithms have been accurately predicting the user/consumer's intent to purchase based on user interaction data (likes/comments/favorites) and are reporting accuracy rates over 70% accuracy. Sentiment analysis relies on implementing models such as BERT to quantify subtle emotions that have the potential to represent signs of unfulfillment in neutral commentaries. Digital experimental design allows researchers to manage A/B test the impact of UGC from a controlled position, for example, when

a product is shown with positive UGC displayed the conversion rate is 23% higher than showing a product without any UGC displayed.

Table 3. Comparison of traditional and digital data-driven consumer behavior paradigms

Dimension	Traditional Paradigm	Digital Data-Driven Paradigm
Core Focus	Theory testing	Theory integration with UGC
Data Type	Questionnaires	Text, images, video
Methods	Regression, SEM	Text mining, ML, sentiment analysis
Time Horizon	Cross-sectional	Longitudinal, real-time
Strengths	High theoretical rigor	High ecological validity
Weaknesses	Poor digital adaptability	Ethical risks, technical demands

Such computational methods have challenged classic theories that are now equipped with real time data. Constructs of the theory of planned behavior (TPB) - such as attitude, subjective norms - can now be operationalized with sentiment scoring and UGC comment activity. In one example, it was reported that UGC constructs could explain over 60% of variance in the predictability of the consumer decision making in digital contexts, whereas chance for explaining through survey methods with traditional constructs over a 40% chance [17]. AIDA was able to take a behavioral trajectory across multi platforms from Awareness to Interest to Desire to Action, even identifying possible barriers along the way, ultimately learning negative UGC being a barrier in passing from interest to desire of a product, which also provided future directions for testing.

To present an understanding of the TPB model that integrated UGC derived variables, as an opening framework to demonstrate how sentiment analysis and comment activity can operationalize traditional constructs, that is highlighted in Table 4 below.

Table 4. Extended TPB model with UGC-driven variables

Original TPB Construct	UGC-Driven Quantitative Indicator	Measurement Method
Attitude	Emotional tendency of UGC (positive/negative)	BERT sentiment analysis (score: -1 to 1)
Subjective Norms	Number of UGC comments + agreement rate	Count of comments + % of 'agree' replies
Perceived Behavioral Control	UGC mentions of «ease of purchase»	LDA topic modeling (mention frequency)
Behavioral Intention	UGC interaction intensity (likes + shares)	Sum of likes/shares on product-related UGC

In turning to content from China, a robust and highly interactive online streaming platform has exploded, called User Generated Content or UGC, The UGC content falls into three broad categories of consumption streaming type (a) the platforms that host short videos less than 60 seconds, such as Douyin and Kuaishou, tend to be providers of fast paced visual and emotional short video content, primarily with the capability of real time comments; (b) medium and long video content platforms such as Bilibili, where viewers can see and/or read expert product reviews or demonstrate products in full which is intended to be more of a rational evaluation; and (c) live streaming platforms such as Taobao Live which leverages real time host-user interactions (ala Q&A). The Table 5 below provides a brief overview of platform types and associated UGC product characteristics and UGC consumption outcomes.

UGC influences consumer behavior in three broad ways - decision making, emotional response, and value perceptions in peer contextual comparison. With respect to consumer decision making, the primary function of UGC as peer reviews is to resolve asymmetry that consumers experience through the opinions of multiple sources of UGC. In terms of emotional response in content including video has the chance to provide an immediate reflect of emotionality, and if it is long enough, can moderate the process of rational evaluation of the product, for example longer videos provide a rational process

of evaluation/moderate emotional engagement. Last, value perceptions based on peer comparisons, peer demonstrations of use, and host-user interaction (such as live streaming interactions) are strengthened on perceived quality, utility (worth the time and worth) and social relevance for the consumer. Thus, these three areas afford us an important picture into the contemporary consumer and their behavior, while demonstrating the need to move beyond the traditional theories to evaluate the interactive digital behavioral functions of consumers in the digital space.

Table 5. UGC Characteristics and Impact Mechanisms Across Platforms

Platform Type	Representative Platforms	UGC Duration	Core Content Type	Impact Mechanism	Key Outcome Metric
Short Video	Douyin, Kuaishou	15–60s	Visual demos, quick reviews	Emotional resonance → Real-time action	Restaurant foot traffic +100%
Medium/Long Video	Bilibili, Xigua Video	5–15 min	In-depth analysis, comparisons	Rational persuasion → Informed decisions	Return rate - 25%
Live Streaming	Taobao Live, Douyin Live	Real-time	Demonstrations, Q&A	Trust building → Rapid conversion	Conversion rate 3x higher

The main takeaway of the study presents an initial move for classic models to be incorporate into empirical assessments of behavior and methods for UGC analysis such as TPB and TAM. Through more data-driven computational methods such as machine learning and sentiment analysis, recognition on what constructs in the study are referenced predictions in consumer behavior towards products can be made known to us through the data. For Douyin and Bilibili we highlighted the manner in which UGC is influencing consumer decision processes through information processing of users opinions generating positive emotional engagement where the opinion if favorable and through rational engagement when the opinion was unfavorable to highlight that all three can (and are) recognized in actual lived experience that resulted in a real case example of a brand and product achieving a 50% increase in sales after experiencing the UGC in both short and long video contexts. Future areas of inquiry include analytics across multi platforms, ethics of data driven work, and multi modal content engagement in order to better understanding the contemporary digital consumer.

Список использованных источников

1. Fang J., Ni Y., Zhang J. Value assessment of ugc short videos through element mining and data analysis // *Applied Sciences*. 2023. T. 13. №. 16. P. 9418.
2. Li S. et al. Text mining of user-generated content (UGC) for business applications in e-commerce: A systematic review // *Mathematics*. 2022. T. 10. №. 19. P. 3554.
3. Hu Y. The influence of platform e-commerce ugc mode on the consumption willingness of generation Z: taking Xiaohongshu as an example // *Journal of Innovation and Development*. 2023. T. 4. №. 1. Pp. 12–18.
4. Zhang S. The Impact of User-Generated Content on Brand Attitude and Purchase Intention in the Foreign-owned catering brand Domino's Pizza in China // *GBP Proceedings Series*. 2025. T. 1. Pp. 27–38.
5. 2024年一季度中国消费者消费意愿调查报告. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baike.baidu.com/item/2024%E5%B9%B4%E4%B8%80%E5%AD%A3%E5%BA%A6%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%B6%88%E8%B4%B9%E8%80%85%E6%B6%88%E8%B4%B9%E6%84%8F%E6%84%BF%E8%B0%83%E6%9F%A5%E6%8A%A5%E5%91%8A/64312540> (дата обращения: 18.09.2025).
6. 中华人民共和国2024年国民经济和社会发展统计公报. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202501/t20250117_1958325.html (дата обращения: 18.09.2025).
7. Се Явэнь и др. Пространственное распределение внимания к городскому туризму в Douyin и влияющие факторы: на примере городской агломерации среднего течения реки Янцзы // *Цзинцзи дили (Экономическая география)*. 2023. T. 43. №. 2. С. 220–228.
8. Lee J.H., Lee C.F. Extension of TAM by perceived interactivity to understand usage behaviors on ACG social media sites // *Sustainability*. 2019. T. 11. №. 20. P. 5723.
9. Dhagarra D., Goswami M., Kumar G. Impact of trust and privacy concerns on technology acceptance in healthcare: an Indian perspective // *International journal of medical informatics*. 2020. T. 141. P. 104164.
10. Lyu W., Wei M., Teo B. S. X. Research on the Impact of UGC Quality on Consumers' Purchase Intention // *Frontiers in Business, Economics and Management*. 2023. T. 7. Pp. 8–15.

11. Lin J. Application of machine learning in predicting consumer behavior and precision marketing // PLoS One. 2025. T. 20. №. 5. P. e0321854.
12. Chen L. Analysis of Social Media Consumer Purchase Intention Based on SEM+ Machine Learning // Procedia Computer Science. 2025. T. 261. Pp. 422–429.
13. Geng R., Chen J. The influencing mechanism of interaction quality of UGC on consumers' purchase intention—an empirical analysis // Frontiers in psychology. 2021. T. 12. P. 697382.
14. Li L. et al. Predicting purchase intentions in online food delivery using deep learning and AIDA model: Insights from sentiment analysis of user reviews // International Journal of Engineering Business Management. 2025. T. 17. P. 18479790251375827.
15. Zhu C., Zhang L. The impact of User Generated Content community marketing and network interaction in Xiaohongshu APP on consumers' purchase intention // Proceedings of the 2022 13th International Conference on E-business, Management and Economics. 2022. Pp. 52–58.
16. Timoshenko A., Hauser J.R. Mining and Organizing User-Generated Content to Identify Attributes and Attribute Levels // Proceedings of the Sawtooth Software Conference. 2016. Pp. 295–314.
17. Leong L.Y. et al. Extending the theory of planned behavior in the social commerce context: A meta-analytic SEM (MASEM) approach // Information Systems Frontiers. 2023. T. 25. №. 5. Pp. 1847–1879.

UDK 658.89

THE IMPACT OF CUSTOMER LOYALTY METRICS (NPS, CSAT, CES) ON PRODUCT DEVELOPMENT STRATEGY

Lazareva M.K. (student, ITMO University)

Supervisor: candidate of Sciences, associate professor Soldatova A.V. (ITMO University)

e-mail: lazlav05@mail.ru

This article explores three customer loyalty metrics. It looks in detail at how Net Promoter Score (NPS), Customer Satisfaction Score (CSAT), and Customer Effort Score (CES) influence product development strategy. Each gives a certain angle on customer engagement, satisfaction, and effort. When these metrics are used together, the product developing team gets a broad picture of the customer experience. This is crucial because they can easily find issues, decide which ones must be fixed first, and spend business budget effectively.

Keywords: customer loyalty, NPS, CSAT, CES, product development strategy, product management, customer experience.

Recently, many company leaders have noticed that product development is now more customer-focused. One key reason is that it costs more to get new customers. Because getting new customers is more expensive, companies see that keeping current customers happy is very important.

Companies are realizing that a lasting edge over competitors comes not just from technological innovation, but from a real understanding of what customers want and using their feedback in product creation. Customer loyalty measurements are now key for judging how good a product is and how well a business is doing overall. The data from these measures provides help to see where improvements can be made and greatly shapes how products are developed.

An important step of product development is gathering customer feedback. Net Promoter Score (NPS), Customer Satisfaction Score (CSAT), and Customer Effort Score (CES) are three key measurements for informing product growth plans [1]. Each gives its own view of the customer's experience. Understanding how these scores function and their interrelationships can reveal what's working well, where there's room for improvement, and how to enhance customer loyalty and satisfaction.

NPS

The Net Promoter Score, introduced by Frederick Reichheld in 2003, measures customer loyalty by assessing the likelihood of customers recommending a product or service to others [2]. NPS is calculated by asking customers a single question: "On a scale of 0 to 10, how likely are you to recommend our company/product/service to a friend or colleague?" Customers are divided into three categories based on their responses: promoters (9-10), passives (7-8), and detractors (0-6).

$$NPS = \% \text{ promoters} - \% \text{ detractors}.$$

The frequency of NPS surveys depends on the business, but in general, they are conducted regularly, for example, quarterly or annually, to track loyalty dynamics. NPS is a business performance predictor, as high scores are linked to revenue growth from positive feedback. Further research indicates that NPS aids managerial decisions by indicating brand health and directing resource distribution. High scores show strong brand liking and good strategy work; low scores mean we need to change how we do things. NPS shows patterns of unhappy customers, helping to keep them and build long-term loyalty [3].

CSAT

Customer Satisfaction Score focuses on immediate customer satisfaction with specific interactions, products, or services. CSAT measures how happy customers are with a specific interaction, product, or service, typically asking questions like "How satisfied were you with [interaction]?" with responses ranging from 1 (very dissatisfied) to 5 (very satisfied).

$$CSAT = \text{number of satisfied customers} / \text{total number of respondents}.$$

Strategically, CSAT helps organizations identify real-time pain points in the customer journey, monitor the impact of new initiatives, and prioritize improvements. High scores indicate that

expectations are being met, supporting retention and positive brand perception, while declining scores highlight areas requiring investment or process changes.

CES

Customer Effort Score measures the ease with which customers can accomplish their goals when interacting with a product or service. Typical question is: "How easy was it for you to [complete X, Y, Z]?" scored on a numeric rating scale (for example, 1 (very dissatisfied) to 5 (very satisfied)). The CES calculation can differ. It can be an average score calculated by adding all responses and dividing by the number of customers, or it can simply be the percentage of customers who give high ratings.

$$CES = \text{Sum of all ratings} / \text{Number of respondents}.$$

The method of calculation should be determined in advance of implementing the survey to maintain consistency in measurement. This metric is particularly valuable for identifying friction points that may not be apparent through satisfaction measurements alone.

Combining these three measures creates a 360-degree feedback loop, allowing product teams to measure and manage fact-based decision-making. Customer experience and the journey of customers over time are also important for companies, because in today's world, customers interact with companies through countless touch points on many different channels and media. When executed programmatically, NPS delivers strategic guidance for feature prioritization, CSAT provides tactical wisdom for targeted feature enhancements, and CES uncovers operational improvements aimed at removing friction from your customers [5].

Integration of loyalty metrics into product development strategy

There are several key stages in the integration of loyalty customer metrics into product development strategy.

First, businesses need to set benchmarks in all three performance indicators to determine the status of their customer experience and where they should focus [6].

The next step is segmentation and cross-analysis. Customers are grouped according to their NPS category (promoters, passives, and detractors), and their CSAT and CES results are examined within these groups. This integrated view highlights which features, or service aspects, are driving loyalty, and which issues reduce satisfaction or increase effort.

Based on these insights, organizations can move to strategic prioritization. NPS trends point to long-term brand health and inform which major product directions to pursue. CSAT results indicate tactical adjustments, guiding refinements in usability, service quality, or feature design. CES, in turn, pinpoints operational inefficiencies that may not directly affect satisfaction scores but create hidden friction that discourages ongoing use.

Finally, the process evolves into continuous iteration. Regular measurement (quarterly or annually for NPS, and transaction-based or periodic for CSAT and CES) ensures that product teams can track the effectiveness of changes, respond quickly to customer concerns, and adapt strategy in real time. When implemented programmatically, this cycle transforms raw feedback into actionable intelligence: NPS for strategic alignment, CSAT for targeted improvements, and CES for streamlining the customer journey.

Modern product development moves from fixing problems to predicting innovation. Companies using combined metrics can predict market trends and customer needs earlier than usual research. For instance, declining CES scores in particular parts of the product may signal broader customer dissatisfaction. This allows the product team to take action before loyalty decreases.

Swiftly acting on insights is a significant advantage of this approach, as it is essential not only to gather data but also to put it to use. Research shows that teams that convert insights into product updates within two weeks outperform their competitors in both response time and customer retention.

References

1. Understanding Customer Feedback: NPS vs CSAT vs CES. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.omniconvert.com/blog/nps-csat-ces/> (дата обращения: 09.09.2025).
2. Vijayakumar H. Revolutionizing Customer Experience with AI: A Path to Increase Revenue Growth Rate // 2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). IEEE. 2023. Pp. 1–6.

3. Gogua M.M., Smirnova M.M. Revisiting Personalization through Customer Experience Journey // Vestnik of Saint Petersburg University. Management. 2020. V. 19. №. 4. Pp. 441–460.
4. Lemon K.N., Verhoef P.C. Understanding Customer Experience Throughout the Customer Journey // Journal of Marketing. 2016. V. 80. №. 6. Pp. 69–96.
5. Keiningham T.L., Aksoy L., Cooil B., Andreassen T.W. The value of different customer satisfaction and loyalty metrics in predicting customer retention, recommendation, and share-of-wallet // Managing Service Quality. 2007. Vol. 17. №. 4. Pp. 361–384.
6. Morgan N., Rego L.L. Understanding the link between customer feedback metrics and firm performance // Journal of Marketing. 2023. Vol. 87. №. 2. Pp. 142–159.

УДК 159.9; 330.131.7; 658.8; 004.9

РЕСЕТЫ В НЕНАВЯЗЧИВОЙ АРХИТЕКТУРЕ ВЫБОРА: И ЕЕ КАУЗАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ И КАЧЕСТВО РЕШЕНИЙ

Пронин Н.А. (Финансовый университет при Правительстве РФ)

Научный руководитель: к.э.н. С.В. Павлова (Финансовый университет при Правительстве РФ)

e-mail: pronickale@gmail.com

Предлагается прикладная концепция визуальных «ресетов» – кратких, обратимых и прозрачных микровмешательств в интерфейс пользователя, направленных на снятие неопределённости и эмоциональных барьеров в предпокупочный момент (финальная стадия перед подтверждением заказа). В рамках модели А.С.Е. (Assure–Clarify–Ease) выделяются три функциональные роли таких приёмов: (А) успокоить покупателя с помощью гарантий и сигналов доверия (например, явное указание на возможность бесплатной отмены заказа в первые минуты и гарантию возврата товара в течение 14 дней); (С) прояснить ключевые параметры выбора (чётко отобразить структуру итоговой цены и сроки доставки, а при отсутствии точного результата поиска сразу предложить несколько релевантных альтернатив); (Е) облегчить завершающий шаг покупки (отобразить индикатор прогресса и добавить короткий микрошаг подтверждения заказа перед оплатой). Также предложены принципы внедрения таких решений и система метрик для оценки их эффекта: показатели охватывают путь пользователя от поведения при поиске до конверсии в оформлении заказа и пост-покупочной удовлетворённости решением. Эксперименты показывают, что применение «ресетов» повышает долю завершённых покупок и уверенность пользователей, не создавая давления и не нарушая этических норм интерфейса.

Ключевые слова: когнитивная перегрузка, архитектура выбора, визуальные ресеты, поведенческие метрики.

Введение

Современные цифровые сервисы предоставляют пользователю обилие информации и опций, что нередко приводит к когнитивной перегрузке и росту неопределённости при выборе [2, 3]. Чем больше альтернатив и параметров приходится учитывать, тем выше страх «выбрать неидеальный вариант». В результате пользователи на последних шагах часто откладывают решение, сохраняют статус-кво либо вовсе покидают воронку продаж. Особенно остро эта проблема проявляется в предпокупочном моменте – непосредственно перед кликом «Оформить заказ», когда рациональные аргументы начинают уступать влиянию эмоций: тревоги, сомнений, ожидания сожаления о сделанном выборе [12]. В этот критический момент теряется значительная доля потенциальных конверсий, и снижается качество принимаемых решений с точки зрения удовлетворённости покупкой.

На фоне этих проблем концепция ненавязчивого влияния на выбор (nudging, «архитектура выбора») предлагает мягкие способы улучшить решение пользователя по его собственным целям без прямого принуждения [1]. В отличие от «тёмных паттернов» (скрытые подписки, ложные таймеры и др., манипулирующие выбором в ущерб покупателю), наши приёмы подчёркнуто прозрачны и обратимы. Они поддерживают пользователя в критический предпокупочный момент, не ограничивая его свободу.

Постановка проблемы

На последнем шаге онлайн-покупки пользователь сталкивается с наибольшей неуверенностью. Даже тщательно сравнив альтернативы, он может до последнего испытывать страх принять неверное решение и предвкушать сожаление о покупке. Дополнительно срабатывают психологические барьеры: избежание потерь (возможная потеря кажется значительно более болезненной, чем аналогичная выгода) [5, 11], неясность условий (непрозрачная цена или сроки доставки усиливают тревогу), дефицит доверия к продавцу и перегрузка выбором [2, 3]. Совокупность этих факторов часто приводит к тому, что на финальном этапе пользователь откладывает действие «на потом» или вовсе отказывается от покупки.

Таким образом, существует потребность в решении, которое снижает неопределённость и эмоциональное напряжение на финальном этапе выбора, не прибегая к давлению. Гипотетически, если в интерфейсе применить небольшие и деликатные изменения – своеобразные «сбросы»

состояния неуверенности, – это поможет пользователю преодолеть сомнения и довести начатое до завершения, оставаясь при этом в комфортном психологическом состоянии и сохраняя ощущение контроля над ситуацией.

Гипотеза

Основная гипотеза исследования состоит в том, что минимальные, обратимые визуальные «ресеты», добавленные за секунды до окончательного решения, приведут к заметному улучшению как поведенческих, так и субъективных показателей. Ожидается снижение когнитивной перегрузки и тревожности пользователя, уменьшение боязни сожаления о выборе – в результате повысится его решимость завершить покупку (commitment). При этом итоговое качество решения возрастет: больше пользователей доведут покупку до конца (рост конверсии на финальном шаге) без увеличения доли возвратов или неудовлетворённости. Участники, видевшие такие «ресеты», вероятно, будут реже испытывать сожаление о покупке и чаще отмечать чувство автономности и удовлетворённости своим решением по сравнению с контрольной группой.

Описание подхода (модель А.С.Е.)

Для систематизации предложенных решений введён каркас А.С.Е. (Assure–Clarify–Ease), определяющий три типа визуальных «ресетов» по их цели:

- **Assure (успокоить):** приёмы, снижающие чувство риска и дефицит доверия у пользователя. Например, интерфейс рядом с кнопкой оплаты может показывать **гарантии**: возможность бесплатной отмены заказа в первые минуты и возврат товара в течение 14 дней. Такие сигналы **повышают уверенность** покупателя, ослабляя страх потери средств или обмана [1, 6];
- **Clarify (прояснить):** приёмы, повышающие прозрачность информации и устраняющие двусмысленность. Например, рядом с итоговой суммой заказа отображается разбивка цены (товар, доставка, скидки, комиссии), а также ближайший срок доставки – это устраняет скрытые доплаты и неопределённость. Если поиск не даёт результатов, вместо пустого экрана сразу предлагаются несколько близких альтернатив. Все эти меры убирают неопределённость и сокращают перегрузку выбором [15, 17];
- **Ease (облегчить шаг):** приёмы, упрощающие и структурирующие завершающий этап. Например, добавить **индикатор прогресса** ("Шаг 2 из 3") и короткий **микрошаг подтверждения** заказа перед оплатой, чтобы пользователь мог проверить корзину. Такие решения снижают внутреннее сопротивление: после небольшого дополнительного шага психологически проще совершить финальный клик, и вероятность бросить покупку заметно уменьшается [19, 20].

Ключевые UX-паттерны и ожидаемые эффекты

Применение описанных паттернов на практике должно приводить к конкретным положительным эффектам, измеримым как объективно, так и субъективно. Для каждого типа «ресета» ожидаются свои результаты:

- **Assure:** рост доверия пользователя и уменьшение отказов на завершающем этапе оформления заказа. **Конверсия чекаута** увеличится, поскольку устраняются причины сомнений (страхи обмана или необратимости), что положительно скажется на удовлетворённости после покупки [1, 6];
- **Clarify:** улучшение взаимодействия на этапе выбора товара. Например, прозрачность цены и наличие альтернатив при "нулевой" выдаче повышают **кликабельность и продолжение поиска**, в итоге растёт общая конверсия; одновременно снижается беспокойство пользователя из-за неполной информации [15, 17];
- **Ease:** снижение числа брошенных покупок на последнем шаге. Дополнительные элементы (прогресс-бар, микроподтверждение) **сокращают время принятия решения** и повышают долю успешно завершённых покупок; при этом пользователь не ощущает спешки или давления, а возможность перепроверить заказ усиливает его **чувство контроля** [19, 20].

Суммарно, если гипотеза верна, визуальные «ресеты» дадут двоякий эффект: **поведенческий** (больше успешно доведённых до конца покупок, меньше времени до принятия решения) и **качественный** (меньше сожалений, выше уверенность и удовлетворённость

решением). Причём достигается это за счёт снятия барьеров, а не за счёт манипуляции выбором: пользователь остаётся полноправным автором своего решения.

Методика и метрики проверки

Эффективность подхода планируется проверить с помощью **А/В-эксперимента**: одна группа пользователей работает со стандартным интерфейсом (контроль), а другая – с интерфейсом, дополненным А.С.Е.-паттернами. Сравнение результатов по ключевым метрикам между группами позволит оценить влияние «ресетов».

Метрики по воронке поведения охватывают все ключевые этапы:

- на этапе поиска: **CTR** (кликабельность результатов) и доля "нулевых" запросов [15];
- на финальном этапе: **конверсия оформления** – процент начавших оформление, которые его завершили;
- **время до совершения покупки**: время от начала оформления до нажатия «Подтвердить» (не должно увеличиваться при добавлении шагов).

Метрики качества решения отражают субъективные и объективные показатели:

- **субъективное сожаление** о покупке: опрос пользователя через некоторое время, спрашивающий, жалеет ли он о своём выборе [12];
- **ощущение автономности и удовлетворённость**: определяется опросом, в котором пользователь оценивает, насколько решение было принято самостоятельно и насколько он им доволен;
- **доля возвратов или отмен**: объективный показатель того, не привели ли «форсированные» покупки к возврату товара или отмене заказа (при эффективных «ресетах» эта доля не растёт) [19].

Заключение

В данной работе представлена концепция визуальных «ресетов» как инструмента ненавязчивой архитектуры выбора, позволяющего снять неопределённость на завершающем этапе онлайн-покупки [1]. Описаны три категории таких приёмов (Assure, Clarify, Ease), предложены конкретные UX-решения для каждой и обсуждены способы их эмпирической проверки на основе А/В-экспериментов с метриками пользовательского поведения и удовлетворённости. Ожидается, что внедрение «ресетов» приведёт к росту конверсии на финальном шаге без ущерба пользовательскому опыту: напротив, покупатели будут чувствовать себя более уверенно и защищённо, не испытывая давления.

Подход обладает практической ценностью благодаря своей масштабируемости, соответствию этическим нормам UX и приносит рост завершённых покупок без снижения удовлетворённости и доверия пользователей [14, 15, 17].

Список использованных источников

1. Thaler R., Sunstein C. *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. Yale University Press. 2008. 240 p.
2. Iyengar S.S., Lepper M.R. When Choice Is Demotivating: Can One Desire Too Much of a Good Thing? // *Journal of Personality and Social Psychology*. 2000. №. 79(6). Pp. 995–1006.
3. Schwartz B. *The Paradox of Choice: Why More Is Less*. Harper Perennial. 2004. 320 p.
4. Kahneman D. *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux. 2011. 592 p.
5. Tversky A., Kahneman D. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases // *Science*. 1974. №. 185(4157). Pp. 1124–1131.
6. Johnson E.J., Goldstein D. Do Defaults Save Lives? // *Science*. 2003. №. 302(5649). Pp. 1338–1339.
7. Freedman J.L., Fraser S.C. Compliance without Pressure: the Foot-in-the-Door Technique // *Journal of Personality and Social Psychology*. 1966. №. 4(2). Pp. 195–202.
8. Davis B.P., Knowles E.S. Disrupt-Then-Reframe: A New Persuasion Technique // *Journal of Personality and Social Psychology*. 1999. №. 76(2). Pp. 192–199.
9. Mandel N., Johnson E.J. Constructing Preferences Online: Can Web Pages Change What You Want? *Journal of Consumer Research*. 2002. №. 30(4). Pp. 475–486.
10. North A.C., Hargreaves D.J., McKendrick J. The Influence of In-Store Music on Wine Selections. *Journal of Applied Psychology*. 1999. №. 84(2). Pp. 271–276.
11. Ellsberg D. Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *Quarterly Journal of Economics*. 1961. №. 75(4). Pp. 643–669.
12. Zeelenberg M. Anticipated Regret, Expected Feedback and Behavioral Decision Making. *Journal of Behavioral Decision Making*. 1999. №. 12(2). Pp. 93–106.

13. Payne J.W., Bettman J.R., Johnson E.J. The Adaptive Decision Maker. Cambridge University Press. 1993. 330 p.
14. Cialdini R. Influence: Science and Practice. Allyn & Bacon. 2001. 262 p.
15. Delivery Club (поиск): кейс об улучшении поисковой выдачи и экспериментальном подходе к рекомендациям. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://amplitude.adventum.ru/blog/delivery-club-search-case> (date accessed: 10.10.2025).
16. KOLESATYТ (шины/диски): автодобавление совместимого комплекта, удержание ~60% комплектов и операционные практики. retailCRM (кейс). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.retailcrm.ru/blog/keys-kolesatyt?ysclid=mjber8g34r319852300> (date accessed: 10.10.2025).
17. СберМаркет (чекаут): возвращение прозрачной разбивки цены и поля промокода после А/В-исследований, улучшение сценария повторного заказа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/kuper/articles/753830/> (date accessed: 10.10.2025).
18. Snoonu (доставка, поиск): скрытие закрытых мерчантов в поиске → рост выручки ≈ \$100k/мес.; улучшение опыта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.content-review.com/articles/71563/> (date accessed: 10.10.2025).
19. iFood (чекаут): снижение ошибок чекаута на 25% и рост завершённых покупок на 54% после оптимизаций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://setka.ru/posts/01926be5-fd24-413c-9f03-5ddec0fe04a2> (date accessed: 10.10.2025).
20. Baymard Institute (CAPTCHA): о негативном влиянии видимых CAPTCHA на завершение форм; рекомендации по UX. Baymard Institute+1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baymard.com/research> (date accessed: 10.10.2025).
21. Ритейл/SEO (шины/диски, «длинный хвост»): профильные кейсы о роли структурирования каталога и фильтров под реальный язык спроса. (euro-diski.ru; агентские разборы). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://seranking.com/ru/blog/long-tail-klyuchi/> (date accessed: 10.10.2025).

ФИЗИКА НАНОСТРУКТУР

УДК 537.84

КОМПЛЕКСНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Боженко С.А. (аспирант, СКФУ)

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Туркин С.Д. (СКФУ)

e-mail: s.semyonovaa@yandex.ru

В работе представлены исследования спектров комплексной магнитной проницаемости высокоцентрированной магнитной жидкости при различных значениях напряженности внешнего магнитного поля. Экспериментально зафиксировано возникновение вторичного максимума на кривых зависимостей действительной и мнимой части магнитной проницаемости от частоты электромагнитного излучения в области полей, не превышающих 200 кА/м. Для более детального анализа наблюдаемых закономерностей проведены исследования действительной части магнитной проницаемости магнитных коллоидов в частотной области 8.2-12 ГГц, охватывающей широкий диапазон объемных концентраций дисперсной фазы (4.3–19.7%). Проведен сравнительный анализ экспериментально полученных спектров действительной части μ и результатов теоретических расчетов, базирующихся на модели невзаимодействующих изотропных частиц одинакового радиуса.

Ключевые слова: магнитная жидкость, сверхвысокие частоты, межчастичные взаимодействия, магнитная проницаемость, ферромагнитный резонанс.

В настоящее время остаются малоизученными многие явления, наблюдающиеся в результате взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ диапазона с магнитными коллоидами в присутствии внешнего магнитного поля. В частности, ферромагнитный резонанс [1], при котором частота микроволнового излучения совпадает с частотой прецессии магнитных моментов наночастиц в феррожидкости. Это приводит к эффективному поглощению энергии микроволнового излучения и изменению магнитных свойств жидкости [2]. Уникальность данной работы, в отличие от предыдущих исследований ферромагнитного резонанса в диапазоне 0.1 – 6 ГГц [3], заключаются в выявлении вторичного максимума на частотных зависимостях, которые пропадают с увеличением величины приложенного поля.

В проведенных исследованиях в качестве объекта изучения использовалась магнитная жидкость на основе керосина, содержащая наночастицы магнетита (Fe_3O_4) со средним диаметром 9 нм. Исходная объемная концентрация твердой фазы в неразбавленной магнитной жидкости составляла 19.9%. Для формирования образцов с пониженной концентрацией твердой фазы, высококонцентрированная исходная феррожидкость подвергалась процедуре последовательного разбавления керосином. Исследование магнитных свойств полученных феррожидкостей проводилось путем воздействия внешнего магнитного поля на образец, расположенный в прямоугольном волноводе с возбуждаемой модой TE₁₀. Внешнее магнитное поле, создаваемое системой из пяти квадратных секций – катушек Рубена, ориентировано перпендикулярно широкой стенке волновода. Для предотвращения растекания жидкостного материала использовались диэлектрические вставки идентичной толщины, изготовленные из однородного материала с известной диэлектрической проницаемостью. Это позволяло корректно учитывать влияние диэлектриков на результаты измерений. Для определения параметров, необходимых для последующего расчета комплексной магнитной проницаемости образца, произвольно расположенного вдоль линии передачи волновода, использовался векторный анализатор цепей. Векторный анализатор цепей позволяет точно измерить коэффициенты отражения и передачи микроволнового сигнала, проходящего через образец, что является необходимым условием для определения как действительной, так и мнимой частей магнитной проницаемости. Полученные данные подвергались дальнейшей обработке с использованием специализированных алгоритмов.

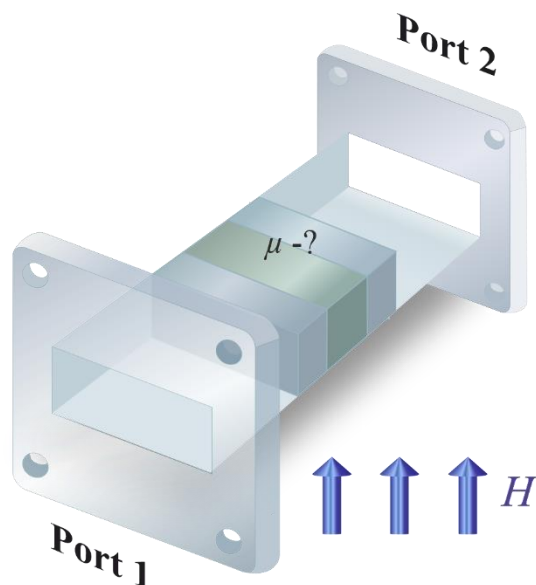


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для частотных измерений электромагнитных параметров материалов на основе прямоугольной волноводной линии передачи

Явление ферромагнитного резонанса возникает в результате взаимодействия микроволнового излучения с наночастицами дисперсной фазы, находящимися под воздействием внешнего магнитного поля. Это взаимодействие приводит к характерным изменениям в спектральных зависимостях действительной и мнимой частей магнитной проницаемости материала. На рисунке 2 представлены спектры действительной и мнимой части магнитной проницаемости магнитной жидкости при различном значении напряженности внешнего магнитного поля.

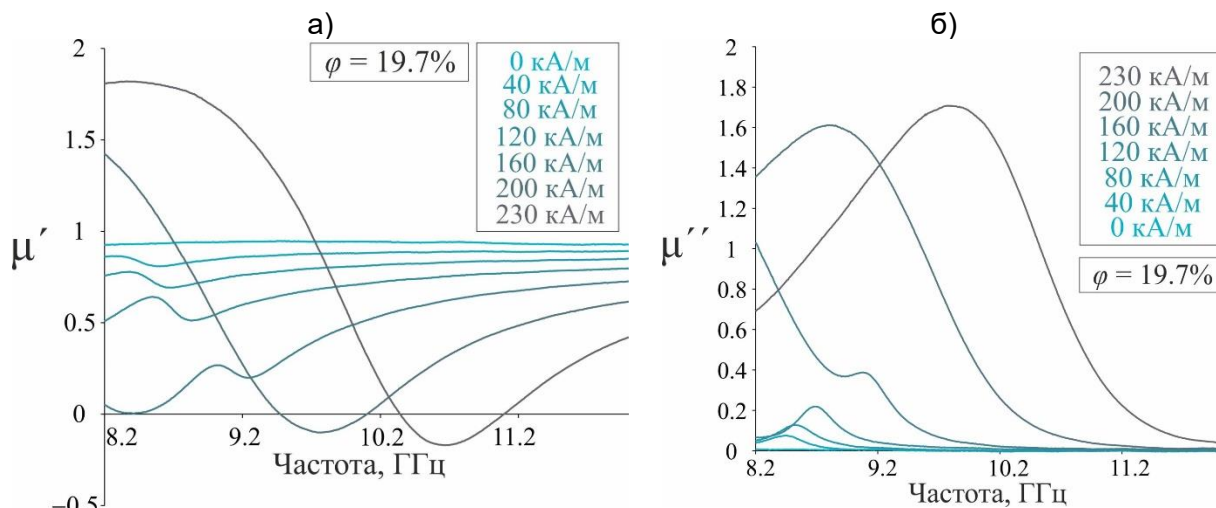


Рис. 2. Спектры комплексной магнитной проницаемости при различном значении напряженности внешнего магнитного поля. а) – действительная часть; б) – мнимая часть. Объемная концентрация твердой фазы – 19.7%

Из рисунка видно, что воздействие внешнего магнитного поля оказывает существенное влияние на характеристики материала, значительно изменяя вид зависимости действительной и мнимой частей комплексной магнитной проницаемости по сравнению с состоянием при отсутствии поля. По мере увеличения напряженности внешнего магнитного поля в исследуемом частотном диапазоне спектры комплексной магнитной проницаемости претерпевают изменения, приближаясь к классическому дисперсионному виду, характерному для магнитных материалов. Однако, результаты экспериментальных исследований демонстрируют, что при напряженности, не превышающей 200 кА/м, на зависимостях наблюдается возникновение вторичного максимума.

Это может быть обусловлено межчастичным взаимодействием однодоменных частиц магнетита в феррожидкости. В области слабых магнитных полей и при высоких концентрациях магнитных коллоидов межчастичные взаимодействия вносят заметный вклад в общий механизм взаимодействия микроволнового излучения с данными средами, что приводит к наблюдаемым экспериментальным зависимостям. При воздействии сильных магнитных полей влияние межчастичных взаимодействий становится менее существенным, и вторичный максимум на спектральных зависимостях действительной и мнимой части магнитной проницаемости исчезает.

Экспериментальные исследования сверхвысокочастотных проницаемостей магнитных коллоидов, охватывающие широкий диапазон концентраций, представляют значительный интерес. В частности, особое внимание уделяется обнаруженному вторичному максимуму на спектрах магнитной проницаемости. На рисунке 3 представлены частотные зависимости действительной части магнитной проницаемости, полученные при различных значениях объемной концентрации твердой фазы в феррожидкостях. Напряженность внешнего магнитного поля в данных экспериментах составляла 160 кА/м. Наблюдается, что увеличение концентрации дисперсной фазы магнитного коллоида приводит к более выраженному проявлению вторичного максимума на спектральных зависимостях μ' .

Для сопоставления с экспериментальными данными, в рамках данной работы проведены расчёты частотных зависимостей μ' , которые базируются на модели невзаимодействующих изотропных частиц одного размера (рис. 3). При этом величина постоянного внешнего магнитного поля фиксирована и составляет 160 кА/м. Результаты расчетов, представленные на рисунке, демонстрируют отсутствие вторичного максимума на спектральных зависимостях. Данное расхождение с экспериментальными данными указывает на необходимость учета дополнительных факторов в теоретической модели.

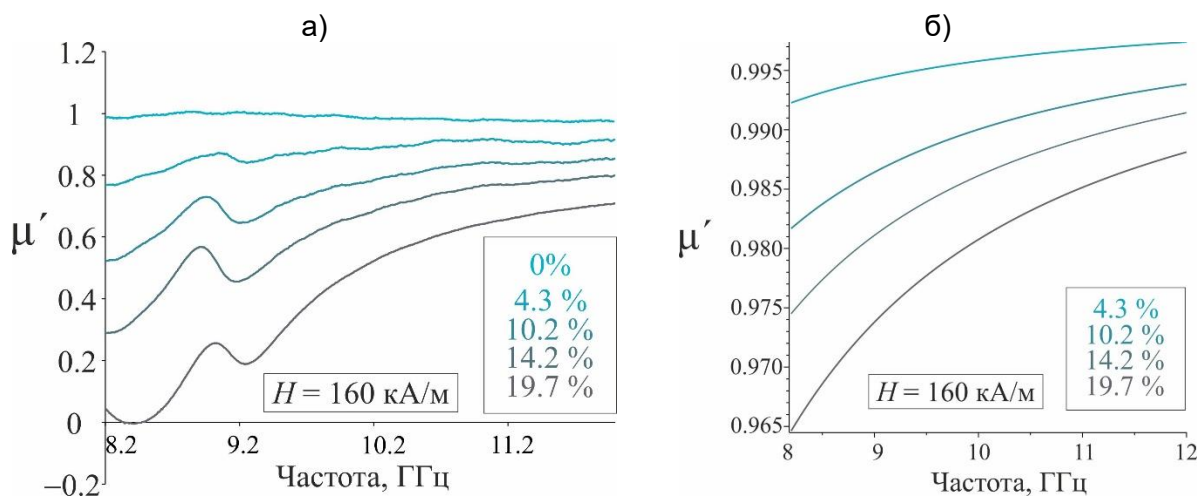


Рис. 3. Спектры действительной части магнитной проницаемости, полученные в рамках
а) – эксперимента; б) – теоретического расчета. Напряженность внешнего магнитного
поля – 160 кА/м

Следует обратить внимание на количественные изменения магнитной проницаемости в теоретических зависимостях. Экспериментальные результаты показывают, что изменения действительной и мнимой части магнитной проницаемости происходят в значительно большем интервале значений, чем предсказывает модель невзаимодействующих изотропных частиц.

Таким образом, внешнее магнитное поле и объемная концентрация наночастиц магнетита в феррожидкостях оказывают сложное комплексное влияние на спектры магнитных проницаемостей. Результаты экспериментальных исследований показывают, что представление магнитных коллоидов в рамках модели невзаимодействующих изотропных частиц одного диаметра является грубым и не описывает уникальные наблюдаемые особенности спектральных зависимостей магнитных проницаемостей.

Список использованных источников

1. Gekht R.S., Ignatchenko V.A., Raikher Yu.L. and Shliomis M.I. Magnetic resonance of an isotropic superparamagnet // J. Exp. Theor. Phys. 1976. V. 43. Pp. 677–683.
2. Fannin P. Use of ferromagnetic resonance measurements in magnetic fluids // J Mol Liq. 2004. V. 114. Pp. 79–87.
3. Fannin P.C., Relihant T., Charlest S.W. Investigation of ferromagnetic resonance in magnetic fluids by means of the short-circuited coaxial line technique // J. Phys. D: Appl. Phys. 1995. V. 28. Pp. 2003–2006.

УДК 537.84

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ КВАЗИТВЕРДЫЕ АГРЕГАТЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (II, III)

Орехова С.М. (студент, СКФУ)

Научный руководитель: д.ф.-м.н., доцент Закинян А.Р. (СКФУ)

e-mail: smorekhova@mail.ru

В работе представлены результаты исследования ферромагнитной жидкости с квазитвердыми агрегатами. Разработана методика синтеза магнитной жидкости на основе наночастиц Fe_3O_4 (5 – 10 нм) в керосиновой среде со стабилизацией олеиновой кислотой, содержащей агрегаты размером около 5 мкм. Исследованы различные физические свойства полученной коллоидной системы: электрические, магнитные, реологические и оптические. Выявлено, что при воздействии внешнего магнитного поля имеет место изменение исследуемых свойств. Обнаружено, что на них оказывает влияние величина концентрации квазитвердых агрегатов, содержащихся в образцах.

Ключевые слова: *магнитная жидкость, агрегаты, магнитное поле, реологические свойства, оптические свойства.*

Магнитная жидкость является стабильным коллоидным раствором, характеризующимся равномерным распределением магнитных наночастиц в непрерывной жидкой фазе. Подобные физико-химические системы классифицируются как феррожидкости либо ферромагнитные жидкости. Их получение впервые было осуществлено экспериментально в первой половине 1960-х гг., что ознаменовало начало активного изучения уникальных свойств данных материалов и расширения областей их потенциального применения. С тех пор исследователи активно изучают их физико-химические свойства, совершенствуют методы синтеза и расширяют области применения. Сочетание текучести с чувствительностью к внешнему магнитному полю делает эти материалы перспективными для практического использования [1]. Области практической реализации охватывают сферу энергетики, включая интенсификацию процессов теплопередачи, разработку эффективных магнитных уплотнительных элементов и создание инновационных магнитных смазочных материалов [2]; экотехнологии путем организации сбора нефтяных загрязнений и последующего удаления органических отходов с применением методов каталитического преобразования; медицинскую отрасль через реализацию методик направленной доставки лекарственных веществ, контрастирования тканей методом магнитно-резонансной томографии и терапевтическое воздействие методами локальной гипертермии [3].

В данной работе представлена методика синтеза ферромагнитной жидкости с квазитвердыми агрегатами, а также изучены динамическая магнитная проницаемость, электрическая проводимость полученных образцов. Рассмотрены оптические и реологические свойства магнитной жидкости с квазитвердыми агрегатами. Влияние концентрации квазитвердых агрегатов на эти свойства.

Методика исследования состояла из нескольких этапов. Первый этап: изготавливалась ферромагнитная жидкость, жидкостью-носителем в которой является керосин, с наночастицами Fe_3O_4 , размерами 5–10 нм, стабилизированными олеиновой кислотой. При добавлении олеиновой кислоты в избытке, согласно разработанной методике в ферромагнитной жидкости образуются агрегаты, размерностью около 5 мкм (рис. 1).

Образовавшиеся агрегаты обладают остаточной намагниченностью, которая сохранялась в течение десятков секунд после выключения магнитного поля. Таким образом, под действием внешнего магнитного поля, при изменении его полярности, цепочки квазитвердых агрегатов (рис. 2), образованные под воздействием внешнего магнитного поля, вращаясь, меняют свою ориентацию в нем на противоположную.

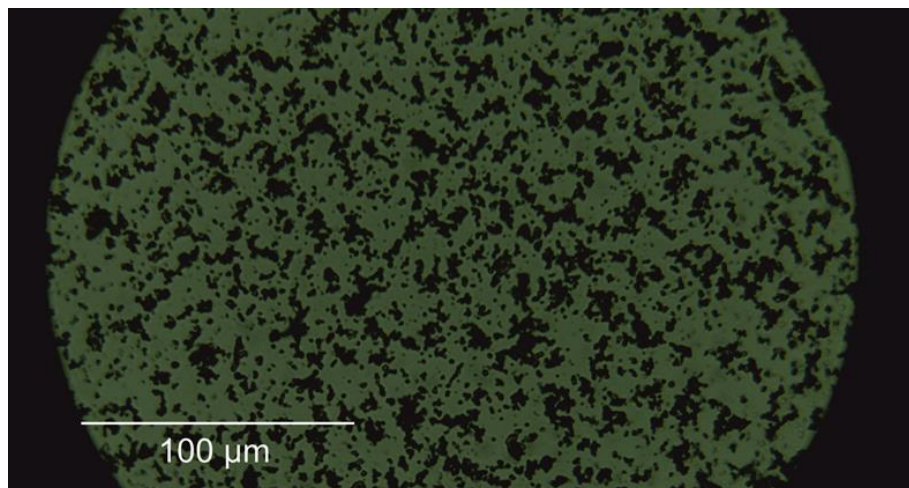


Рис. 1. Микрофотография квазитвердых агрегатов в ферромагнитной жидкости

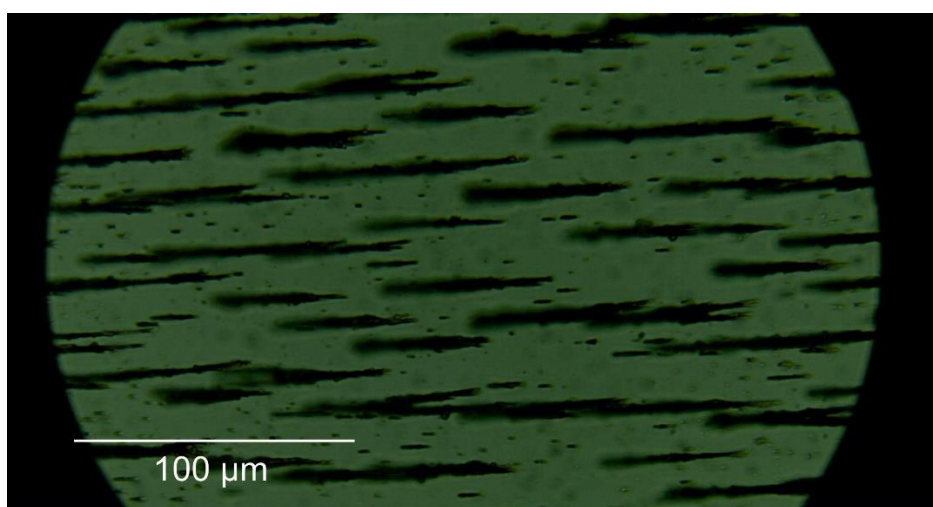


Рис. 2. Микрофотография цепочек, образованных квазитвердыми агрегатами в ферромагнитной жидкости

Второй этап: исследование магнитных свойств полученного магнитоуправляемого материала методом мостовой магнитометрии. Образец полностью заполнял бескаркасный соленоид длиной 10 см и диаметром 0,5 см. Исследование магнитных свойств было выполнено путем анализа изменений индуктивности указанной катушки. Измерения проводились посредством моста переменного тока модели *GW Instek LCR-78110G* на частоте 2 кГц. Величина амплитуды приложенного тестового напряжения была настолько мала, что исключала какие-либо изменения структуры исследуемого образца. Для создания микроструктурной упорядоченности соленоид с эмульсией помещали в однородное стационарное поле, ориентированное вдоль оси катушки (совпадающее с направлением измерительного поля). Подмагничивающее поле формировалось с помощью кубической намагничивающей системы.

Экспериментальные результаты продемонстрировали стабильное уменьшение магнитной восприимчивости изученной магнитодисперсной системы с увеличением напряжённости внешнего магнитного поля независимо от содержания квазитвердой фазы в среде.

Третий этап исследований: были изучены электрические свойства полученной ферромагнитной жидкости с квазитвердыми агрегатами методом мостовой магнитометрии, а именно проводимость. Схема измерительной ячейки представляет собой конденсатор, пространство между обкладками которого заполняется образцом, образец располагался горизонтально. Образец вместе с конденсатором размещали в постоянном равномерном подмагничивающем поле, совпадающем по направлению с полем измерения электрической проводимости. Само подмагничивающее поле формировалось специальной кубической

системой намагничивания. Подмагничивающее поле создавалось кубической намагничивающей системой. Проведенные исследования показали, что измеряемая описанным образом проводимость магнитной жидкости немонотонно изменяется с ростом внешнего магнитного поля.

Затем были изучены реологические свойства полученной ферромагнитной жидкости с квазитвердыми агрегатами с помощью ротационного реометра *RHEOTEST® RN 4.1*, а именно вязкость. Использовалась система измерения конус-пластина, она представляет собой вращающийся конус, закрепленный сверху, под ним жестко закрепленная пластина, в 10 мкм зазоре между ними располагается исследуемый образец. Чтобы сформировать упорядоченную микроструктуру, измерительную систему вместе с исследуемым образцом эмульсии размещали в постоянном равномерном внешнем магнитном поле, ориентированном параллельно оси установки. Это поле формировалось посредством катушек Гельмгольца. Проведенные исследования показали, что измеряемая описанным образом вязкость ферромагнитной жидкости увеличивается с ростом внешнего магнитного поля, независимо от концентрации квазитвердой фазы в ней.

Завершал данное исследование анализ оптических свойств ферромагнитных жидкостей различных концентраций. С помощью собранной установки, содержащей автоматический позиционер, перемещающий датчик по исследуемой области, лазер, вольтметр, плоскую ячейку Хеле-Шоу, заполняемую образцом, катушки Гельмгольца. Образец заполнял тонкую плоскую горизонтально расположенную ячейку, над ней располагался лазер с длиной волны 620 нм красного цвета, направленный вниз так, чтобы луч шел перпендикулярно плоскости образца, под ячейкой с образцом располагался фотодетектор, измеряющий интенсивность рассеянного пучка лазера, прошедшего сквозь слой образца. Ячейка с образцом располагалась в однородном магнитном поле, создаваемом катушками Гельмгольца, направленном вдоль плоскости образца. Фотодетектор равномерно перемещался с помощью автоматического позиционера по прямоугольной области 25 см на 50 см.

Проведенные исследования показали, что с увеличением магнитного поля увеличивается интенсивность рассеянного света, проходящего сквозь исследуемый образец, и область рассеяния увеличивается для всех концентраций квазитвердой фракции, содержащейся в образцах магнитной жидкости.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что имеет место возможность управления свойствами и поведением квазитвердых агрегатов в ферромагнитных жидкостях при помощи магнитного поля и использования данных процессов в различных сферах жизни человека: от медицины до энергетики.

Список использованных источников

1. Новопапин С.А., Серебрякова М.А., Хмель С.Я. Методы синтеза магнитных жидкостей (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 2015. №. 22. С. 411.
2. Алексашкин И.В., Першина Е.Д., Каздобин К.А. Оптимизация условий синтеза магнитной жидкости // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2010. №. 62. С. 227–235.
3. Наночастицы магнетита (Fe_3O_4) в биомедицинском применении: от синтеза к поверхностной функционализации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2312-7481/6/4/68/html> (дата обращения: 10.09.2025).

ХЕМОИНФОРМАТИКА И БИОИНЖЕНЕРИЯ: ОТ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ ДО ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

УДК 54.061

АНАЛИЗ СОСТАВА МОЧЕВЫХ КОНКРЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОСКОПИИ В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ И МЕТОДОВ ХЕМОМЕТРИКИ

Ласточкина К.Н. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н. Бойченко Е.С. (инженер, ИТМО)

e-mail: 336703@itmo.ru

Мочекаменная болезнь (МКБ) представляет собой широко распространённую урологическую патологию, уровень заболеваемости и частота рецидивов которой продолжают неуклонно возрастать. Решающее значение для выбора оптимальной лечебной тактики и предотвращения повторного образования конкрементов имеет своевременное определение химического состава мочевых камней. Результатом данного исследования является анализ мочевых камней различного состава с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области в диапазоне 939–1799 нм и методов машинного обучения.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, БИК-спектроскопия; урология, хеометрика, отбор переменных.

Введение

Мочекаменная болезнь – это распространенное заболевание, характеризующееся образованием камней в почках, мочевом пузыре и других верхних мочевых путях. Одним из факторов в выборе тактики лечения и профилактики рецидивов является точное определение химического состава мочевых конкрементов. Однако традиционные методы диагностики, такие как рентгенофазовый анализ и спектроскопия в инфракрасной области, имеют ряд ограничений: длительное время ожидания результатов, а также невозможность проведения анализа во время операции [1].

В связи с этим разработка технологий для *in vivo* анализа мочевых камней представляет особую актуальность для более эффективного проведения операций по дроблению и извлечению камней, а также для своевременного назначения рекомендаций по профилактике рецидивов (диета, лекарственные средства), зависящих от состава конкремента. Перспективным направлением является использование портативных спектрометров в ближнем инфракрасном диапазоне (БИК), оснащенных волоконно-оптическими зондами, с обработкой спектральных данных хеометрическими методами.

Мочевые камни классифицируются по химическому составу на несколько основных типов, среди которых наиболее распространенными являются оксалаты, ураты и фосфаты. Оксалатные камни (вевеллит, веделлит) составляют до 70% всех случаев, уратные (мочевая кислота и ее соли) – около 10–15%, а фосфатные (струвит, апатит) — 5–10% [2]. Каждый тип камня требует особого подхода к лечению и профилактике, поэтому точное определение состава конкремента является критически важным. Таким образом, задача классификации мочевых камней сводится к многоклассовой задаче распознавания трёх основных типов: оксалатов, уратов и фосфатов.

Хеометрика – это раздел аналитической химии, посвященный обработке химических данных методами математической статистики и машинного обучения. Развитие вычислительных мощностей и многомерных методов анализа стало ключевым фактором, позволившим широко внедрить БИК-спектроскопию в практику качественного анализа [3]. Для решения задач многоклассовой классификации успешно применяется алгоритм *error-correcting output codes* (ECOC), который преобразует сложную многоклассовую проблему в

серию более простых бинарных классификаций последующим объединением их результатов для получения итоговой метки класса [4].

Спектральные данные, особенно в ближнем инфракрасном диапазоне, характеризуются высокой размерностью. Многие из этих переменных являются избыточными, что может негативно сказываться на качестве моделей машинного обучения, приводя к переобучению и увеличению вычислительной сложности. Поэтому для повышения эффективности и интерпретируемости моделей применяются методы сокращения размерности.

Для сокращения размерности данных мы осуществили поиск компактного представления исходных данных с сохранением наиболее значимых переменных. Этот процесс повышает не только точность классификации, но интерпретируемость моделей. Основным подходом к сокращению размерности остается отбор переменных, при котором сохраняются значимые переменные, а зашумленные и избыточные — исключаются [5].

В рамках настоящей работы проведено исследование по анализу мочевых камней с использованием БИК-спектроскопии и методов машинного обучения для обработки результатов. Основная задача заключалась в оптимизации классификационных моделей с помощью различных методов отбора переменных.

Материалы и методы

В исследовании было проанализировано 260 образцов мочевых конкрементов, состав которых отражал естественное распределение по типам: оксалатные (73%), уратные (18%) и фосфатные (9%) камни. Для спектроскопического анализа использовали портативный БИК-спектрометр AvaSpec-NIR256-1.7-USB2 (Avantes, Нидерланды) в комплексе с гибким оптоволоконным зондом Endoprobe 7NIR+1NIR (ООО "НТЦ Волоконно-оптических Устройств", Россия). Источником излучения служила галогеновая лампа AvaLight-HAL-S-Mini (Avantes, Нидерланды).

Спектры диффузного отражения регистрировали в диапазоне 939–1799 нм со спектральным разрешением 4 нм при стандартных условиях (на воздухе). Протокол измерений включал регистрацию темнового спектра (при отключенном источнике излучения) и эталонного спектра от стандартного образца из фторопласта (Spectralon, США) для последующей нормировки данных.

Предварительная обработка данных

На рисунке 1 представлены спектры различных типов мочевых камней, зарегистрированные на воздухе.

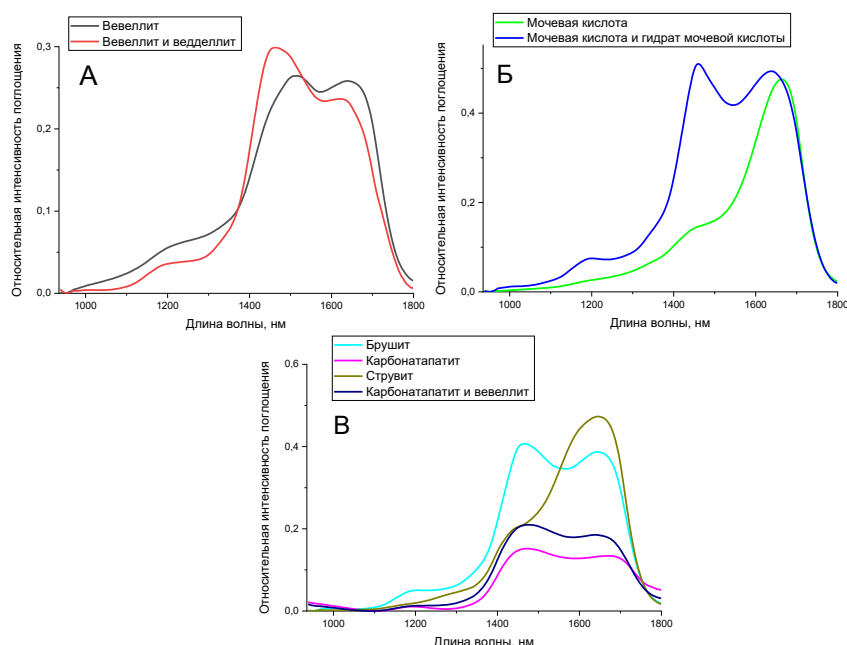


Рис. 1. БИК-спектры мочевых камней, измеренные в стандартных условиях. А – оксалатные камни, Б – уратные камни, В – фосфатные камни

Для каждого образца мочевого камня выполняли три независимых измерения в различных точках поверхности с последующим усреднением спектров, что позволило минимизировать влияние локальной неоднородности материала на конечный результат. Предварительная обработка спектральных данных включала последовательное применение двух алгоритмов математической коррекции: вычисление первой производной для выделения слабоинтенсивных спектральных полос, СНП для уменьшения эффектов рассеяния света. Все этапы обработки проводились в программе The Unscrambler 9.7 (CAMO, Норвегия).

Анализ данных

Для многоклассовой классификации на всем наборе данных ("оксалаты"- "ураты"- "фосфаты") использовали метод ECOC через функцию `fitscocs` в MATLAB. Параметры ECOC-моделей автоматически оптимизировались с помощью байесовской оптимизации. Данные разделялись на обучающую и тестовую выборки (70/30).

Поскольку общая точность (ассурагу) может давать искаженные результаты для несбалансированных данных, использовали другие метрики: чувствительность (recall) и точность (precision). Метрика recall (на примере для класса "оксалаты") показывает, сколько оксалатных камней было обнаружено среди всей выборки. Метрика precision показывает, сколько процентов среди всех камней, которые модель отнесла к оксалатным камням, действительно являются таковыми. Для каждого класса рассчитывали геометрическое среднее Recall и Precision (G-mean).

Для повышения эффективности классификации и сокращения размерности данных были применены различные методы отбора информативных переменных (интервальный метод, neighborhood component analysis (NCA), алгоритм ReliefF, minimum redundancy maximum relevance (mRMR)). Каждый алгоритм оценивает важность переменных, ранжируя их по собственным метрикам. После оптимизации каждого метода проводили классификацию конкрементов с использованием метода ECOC и валидацией по методу Монте-Карло (100 итераций).

Для реализации NCA в MATLAB использовалась функция `fscnca`. Программное обеспечение вычисляет ошибку обобщения модели отбора переменных метода NCA, используя начальные веса переменных, предоставленные функцией `fscnca`.

Для изначально предобработанных данных определяли оптимальное значение параметра регуляризации (Lambda). Для поиска значения Lambda, которое сможет минимизировать ошибку классификации, в диапазоне от 10^{-6} до 10^{-1} было задано 20 значений Lambda, равномерно распределенных в логарифмической шкале.

После определения оптимального значения Lambda (в нашем случае 0,0061 и 0,0056) финальная модель обучалась только на выбранных алгоритмом длинах волн. Анализ полученных весов переменных для стандартных условий показал, что только 46 из 216 длин волн имели значимые весовые коэффициенты, превышающие установленный порог в 2% от максимального значения. Распределение весов переменных от длин волн для стандартных условий показано на рисунке 2.

На рисунке 3 визуализированы интервалы длин волн на усредненных по каждому классу БИК-спектрах, которые модель посчитала за наиболее важные для классификации при измерениях в стандартных условиях.

Результаты

Метод ECOC на всем наборе длин волн продемонстрировал максимальную эффективность для оксалатов (G-mean 95%), результаты приведены в таблице. Ураты классифицировались с точностью 89%, тогда как для фосфатов показатели были существенно ниже (70%).

Применение методов отбора переменных позволило сохранить высокую точность для оксалатов и уратов, а также повысить показатели для фосфатов с 70% до 72%, при этом сократив размерность данных. Наилучшие результаты показал метод NCA и интервальный метод.

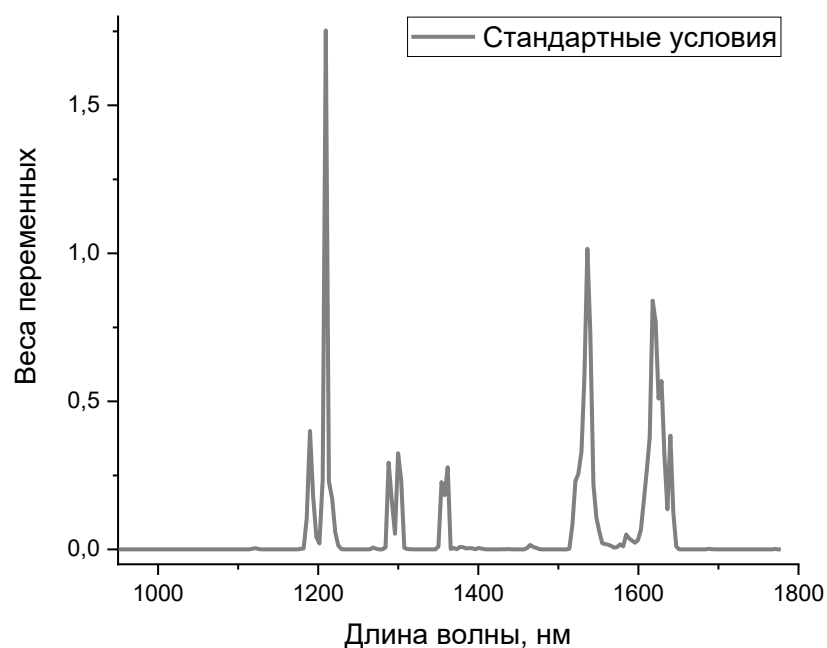


Рис. 2. Значение весов переменных при стандартных условиях

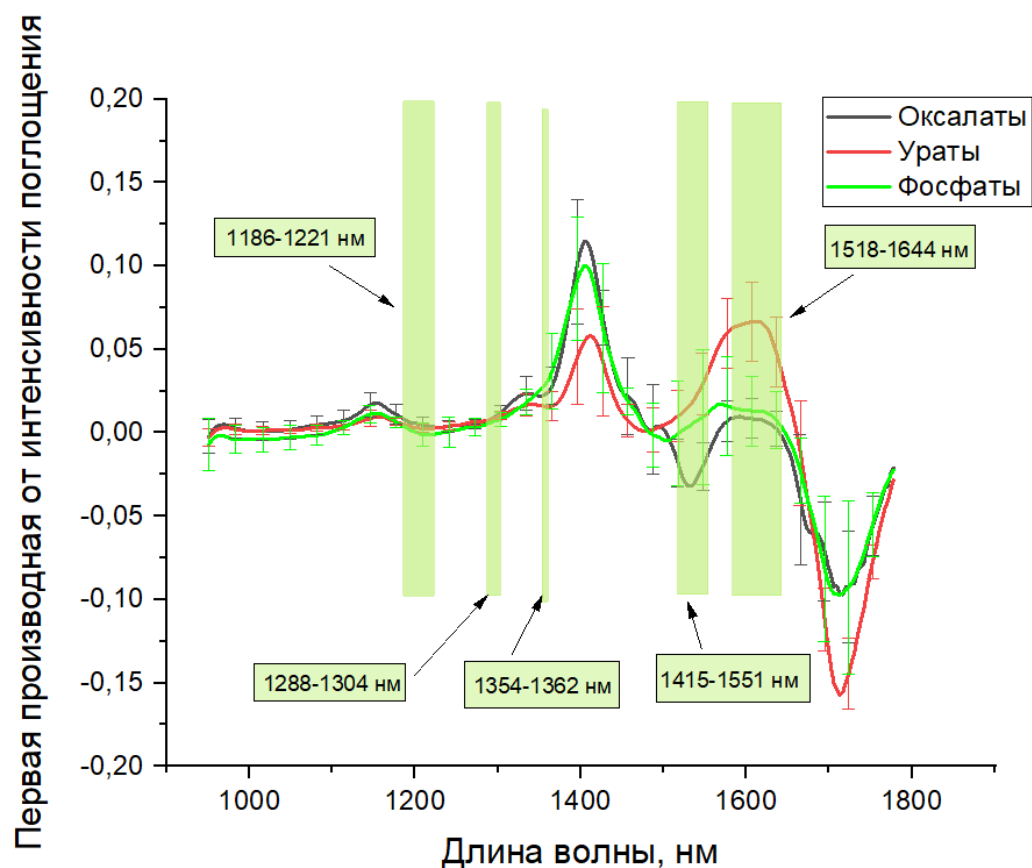


Рис. 3. Информативные длины волн при стандартных условиях

Таблица. Результаты классификации мочевых камней методом ЕСОС

Метрика Класс	G-mean, %		
	Оксалаты	Ураты	Фосфаты
Без отбора	95	89	70
Интервальный	95	89	72
NCA	94	87	69
ReliefF	96	90	61
mRMR	93	87	57

Выводы

В ходе проведенного исследования была разработана методика классификации мочевых конкрементов на основе спектроскопии в БИК-области в сочетании с хеометрическими методами. Разработанный подход обладает рядом преимуществ перед традиционными методами: быстрота получения результатов и возможность использования во время оперативного вмешательства.

Основной целью работы являлась оптимизация модели классификации для точного распознавания трех основных типов мочевых камней: оксалатов, уратов и фосфатов. Применение алгоритма ECOC в сочетании с методами отбора информативных переменных (NCA, ReliefF, mRMR, интервальный метод) позволило создать оптимизированную модель, демонстрирующую высокую эффективность. Для оксалатных камней достигнуто геометрическое среднее точности и чувствительности (G-mean) на уровне 92–95%, для уратных — 83–89%, для фосфатных — 52–72%. Полученные результаты подтверждают возможность практического применения разработанной методики для интраоперационной диагностики состава мочевых конкрементов.

Список использованных источников

1. Türk C., Petřík A., Sarica K., Seitz C., Skolarikos A., Straub M., Knoll T. EAU Guidelines on Urolithiasis // *European Urology*. 2015. Vol. 69. Pp. 475–482. DOI: 10.1159/000049803.
2. Мочекаменная болезнь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uroweb.ru/sites/default/files/KP7-2024.pdf> (дата обращения: 15.09.2025).
3. Yu B., Burnside E.S., Sisney G.A., Harter J.M., Changfang Z., Dhalla A., Ramunjam N. Feasibility of near-infrared diffuse optical spectroscopy on patients undergoing image guided core-needle biopsy // *Optics Express*. 2007. Vol. 15. №. 12. Pp. 7335–7350.
4. Yu H., Hong S., Yang X., Ni J., Dan Y., Qin B. Recognition of multiple imbalanced cancer types based on DNA microarray data using ensemble classifiers // *BioMed Research International*. 2013. Article ID 910621. DOI: 10.1155/2013/910621.
5. Guyon I. et al. (ed.). *Feature extraction: foundations and applications*. Springer. 2008. T. 207. 778 p.

ЯЗЫК В ЭПОХУ АЛГОРИТМОВ: ВЫЗОВЫ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 811

МЕТАФОРИКА АНИМАЦИОННЫХ ФИЛЬМОВ PIXAR КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ, КОММУНИКАЦИИ И РАЗВИТИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА (6–9 ЛЕТ)

Валевич И.Е. (студент, НИУ ВШЭ)

Научный руководитель: к.пед.н. Чермошенцева К.А. (НИУ ВШЭ)

e-mail: ievalevich_1@edu.hse.ru

В данной статье рассматривается потенциал использования разнообразных метафорических образов из анимационных фильмов студии Pixar в процессе обучения английскому языку учащихся младшего школьного возраста (от 6 до 9 лет). При изучении вышеупомянутой тематики основное внимание уделяется анализу релевантности предложенного подхода в контексте поиска инновационных методов преподавания, отвечающих запросам современного цифрового поколения. Таким образом, выделяют ключевые типы метафор (онтологические и ориентированные), характерные для фильмографии Pixar, и классифицируют основные концепты, релевантные для работ анимационной компании («семья», «дружба», «эмоции и чувства», «взросление и др.). На основе эмпирического опыта доказывается, что интеграция видеоматериалов Pixar в структуру урока (отрывки из мультфильмов, песни и т. д.) способствует преодолению языкового барьера, развитию критического мышления, эмоционального интеллекта, а также расширению лексического запаса. В работе предложена практическая модель урока с использованием анимационных фрагментов и даны методические рекомендации для педагогов и методистов. Результаты исследования подтверждают повышение мотивации и учебной вовлеченности учащихся. Ключевые слова: метафора, метафорика, когнитивные навыки, преподавание английского языка, методика обучения, коммуникативная компетенция, анимация Pixar, младшие школьники, визуальный образ.

Ключевые слова: мотивация учащихся, обучение английскому языку, анимационные фильмы, детское обучение иностранному языку.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска инновационных, увлекательных, нестандартных и эффективных методов преподавания иностранного языка, соответствующих интересам современного цифрового поколения. Глобальная популярность анимационных фильмов, в частности продукции студии Pixar, делает их валидным дидактическим ресурсом, способным стимулировать мотивацию и вовлеченность учащихся в образовательный процесс. Как отмечают исследователи, метафора является не только лингвистическим, но и фундаментальным когнитивным инструментом, структурирующим человеческий опыт и позволяющим осваивать абстрактные понятия через конкретные образы [1, 2]. Многослойная метафорика Pixar, органично вплетенная в увлекательные сюжеты, представляет собой насыщенный и одновременно рациональный материал для интеграции в образовательный процесс.

В рамках исследования был проведен анализ как полнометражных («История игрушек», «Головоломка», «Вверх», «Душа», «Суперсемейка» и др.), так и короткометражных («Бао», «Песочник» и др.) работ Pixar. В основе анализа лежала теория концептуальной метафоры Дж. Лакоффа и М. Джонсона, согласно которой метафора представляет собой понятийную конструкцию, служащую центральным элементом для мышления и построения образа [3]. Были идентифицированы два ключевых типа метафор:

1. Онтологические, представляющие абстракции (идеи, эмоции) в виде неких фигур и обликов. Например, в мультфильме «Головоломка» эмоции персонифицированы и показаны как живые, разумные существа, что делает их осязаемыми и понятными для детей.

2. Ориентированные, организующие целые системы концептов (например, жизненный путь, полный трудностей, преодоления внешних и внутренних проблем, а также личностного роста как движение вперед в «В поисках Немо»).

На основе выделенных метафор был определен ряд универсальных концептов, наиболее часто эксплуатируемых и затрагиваемых студией: «семья/семейные ценности» («Храбрая сердцем», «Суперсемейка»), «взросление/перемены» (трилогия «История игрушек», «Вверх»), «эмоции» («Головоломка»), «доверие/преданность» («В поисках Немо»), «надежда/одинокчество» («ВАЛЛ-И»).

Эмпирическая часть исследования была нацелена на апробацию методики использования данных метафорических образов в обучении английскому языку учащихся 1–4 классов (уровень А1–А2) [4]. Также была разработана и внедрена примерная структура урока, включающая следующие этапы:

1. Разминка (Warming-up): просмотр короткого фрагмента или прослушивание песни для вовлечения в урок и активации языковых навыков.
2. Презентация (Presentation): введение новой лексики/грамматики через метафорический образ (например, трейлер «Головоломки 2» в качестве инструмента изучения темы «Эмоции»).
3. Практика (Practice): отработка материала через ролевые игры, диалоги и творческие задания (рисование эмоций, описание суперспособностей и т. д.).
4. Заключение (Cool-down): рефлексия и повторение изученного материала в игровой форме (например, игра в “Snowball”, когда ученику следует повторить все новые выученные за занятие слова).
5. Домашнее задание (Home Assignment): закрепление темы через творческое упражнение (придумать три простых фразы, используя новые выученные слова и фразы).

Практика показала, что работа с метафорическими образами Pixar действительно способствует развитию широкого спектра навыков:

- коммуникативных: умение слушать, адаптироваться в языковой среде и выражать мысли, соответственно;
- когнитивных: концептуализация, интерпретация, анализ, развитие критического и абстрактного мышления;
- учебно-интеллектуальных: синтез материала и систематизация знаний;
- эмоциональных: развитие эмпатии и эмоционального интеллекта.

Наблюдения и обратная связь от педагогов подтвердили, что данный подход значительно повышает мотивацию учащихся, снижает языковой барьер и делает процесс обучения более запоминающимся и лично-значимым. Яркие визуальные образы создают прочные ассоциативные связи, облегчая запоминание лексики и грамматических конструкций.

В заключение можно утверждать, что концептуальные метафоры анимационных фильмов Pixar являются высокоэффективным и аутентичным инструментом в арсенале современного педагога. Их интеграция в учебный процесс позволяет создать, насытить и укрепить подлинно коммуникативную и лично-ориентированную образовательную среду, а также повысить мотивацию учеников и их интерес к изучению иностранного языка. Перспективы дальнейших исследований сопряжены с разработкой детальных методических рекомендаций и цифровых учебных модулей, основанных на конкретных фильмах студии, а также в изучении долгосрочного эффекта от применения данного подхода на креативность мышления учащихся и беглость речи.

Список использованных источников

1. Киселева А.А., Эбзеева М.М. Концепт как форма репрезентации культурного опыта в языковом сознании // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2023. Т. 16. №. 3. С. 862–867.
2. Kövecses Z. Extended Conceptual Metaphor Theory. – Cambridge University Press, 2020. 242 p.
3. Lakoff G., Johnson M. Metaphors We Live By. – London: The University of Chicago Press. 2003. 276 p.
4. Савченкова Т.Н. Формирование коммуникативных умений у младших школьников на уроках английского языка с использованием мультипликации // Педагогика и психология образования. 2023. №. 1. С. 154–163.

УДК 81'33

МЕТОДЫ NLP ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ЛЕКСИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕКСТОВ УМК (НА ПРИМЕРЕ УМК “SPOTLIGHT” ДЛЯ 8 КЛАССА)

Кругликова Е.В. (студент, НИУ «МИЭТ»)

Научный руководитель: к.педаг.н., доцент Байдикова Н.Л. (НИУ «МИЭТ»)

e-mail: lena.krugikova.04@gmail.com

В статье представлен NLP-анализ для выявления уровня сложности текстов учебного модуля “Spotlight on Russia” для 8 класса с применением формулы Flesch Reading Ease (FRE), лексических метрик (TTR, шкалы Левенштейна), уровней CEFR. Полученные результаты показали, что тексты варьируются от умеренно сложных до легко читаемых. Разработанный подход может быть применён для объективной оценки учебных материалов и их адаптации к уровню языковой подготовки учащихся.

Ключевые слова: оценка сложности текста, NLP, Flesch Reading Ease, TTR, CEFR, расстояние Левенштейна, учебники английского языка, автоматизация анализа.

Введение

Современные достижения в области цифровой лингвистики и обработки естественного языка (NLP, natural language processing) позволяют применять автоматизированные методы анализа, которые обеспечивают более глубокое и качественное понимание лексических характеристик учебных материалов. Однако в отечественной педагогической науке данный подход пока остаётся слабо представленным и носит фрагментарный характер, часто зависимый от зарубежных онлайн-сервисов и баз данных. Так, зачастую отсутствуют объективные инструменты для оценки сложности текстов, выбор материалов основывается на интуиции авторов УМК. Это приводит к риску несоответствия текстов возрасту, языковой компетенции и целям обучения. Применение комплексного анализа с использованием методов NLP, метрик читаемости, частотности и соответствия лексики по шкале CEFR позволяет обеспечить научно обоснованную проверку качества учебных материалов. Результаты исследования могут быть полезны авторам учебников, методистам, учителям иностранного языка и исследователям в области лингводидактики. Кроме того, предложенный подход может применяться при разработке цифровых образовательных ресурсов и автоматизированных систем оценки учебных текстов.

Цель исследования состоит в создании системы параметров и выборе методов NLP, позволяющих объективно оценивать уровень сложности иноязычных текстов, используемых в учебных материалах.

Основная часть

В исследовании анализировались тексты УМК “Spotlight” для 8 класса из модуля «Spotlight on Russia». Данный раздел содержит материалы о России, её обычаях, традициях и современном образе жизни, достижениях в различных сферах, географии и культуре [1]. Однородность структуры текстов позволила проводить их анализ в совокупности. Всего в выборку было включено девять текстов. Перед проведением количественного и качественного анализа нами была сформирована таблица Excel, включающая тексты модуля и номера их следования в модуле «Spotlight on Russia» для 8 класса.

Автоматизированный анализ проводился согласно следующим параметрам лексической и текстовой сложности:

1. **Объем и структура текстов** – общее количество слов, общее количество предложений, средняя длина предложений).
2. **Индекс читаемости Flesch Reading Ease (FRE)** – показатель легкости восприятия текста на основе длины предложений и слов.
3. **Лексическое разнообразие (TTR, Type-Token Ratio)** – соотношение уникальных лексем (однократно употребляемых слов) к общему количеству слов.
4. **Прозрачность лексики (шкала Левенштейна)** – степень сходства форм графико-фонетических английских слов с их русскими эквивалентами.

5. Уровневое распределение лексики (CEFR, Common European Framework of Reference for Languages) – соотнесение слов текста с уровнями владения иностранным языком по Европейской системе владения иностранным языком (A1-C2).

Для задач оценивания лексики по качественным критериям (уровень CEFR, межъязыковая прозрачность по шкале Левенштейна) была осуществлена предобработка текстов с использованием методов обработки естественного языка (NLP). Тексты были приведены к нижнему регистру, удалены все знаки пунктуации с помощью регулярных выражений. Для сегментации и токенизации использовалась библиотека spaCy, с помощью которой было достигнуто единообразное разбиение на лексические единицы. Для задач количественной оценки (длина предложений, количество слов, формула удобочитаемости) использовались тексты с сохранением пунктуации.

Результаты

В результате работы было автоматически проанализировано 9 текстов модуля “Spotlight on Russia” из учебника “Spotlight” для 8 класса. Для каждого текста были рассчитаны показатели сложности с помощью индекса Flesch Reading Ease (FRE), коэффициента TTR (Type-Token Ratio) и показателя межъязыковой прозрачности, а также систематизированы общие численные показатели по количеству слов, предложений и средней длине предложений.

1. Объем и структура текстов

Анализ количественных характеристик показал, что объем слов и предложений в представленных текстах варьируется. Так, минимальное количество слов зафиксировано во втором тексте (145 слов), наибольшее – в третьем тексте (392 слова). Количество предложений также различается: от 8 (Текст 2) до 29 (Текст 3), что отражает разную степень развернутости текстов. В среднем длина предложения колеблется от 13 до 21 слова, что указывает на умеренную сложность текстов и разнообразие структуры предложений.

Наиболее короткие предложения характерны для третьего текста (14 слов в среднем), а наиболее длинные — для четвертого текста (23 слова в среднем), что указывает на разнообразие структуры предложений и различную сложность восприятия текстов. Последнее потенциально усложняет процесс восприятия текста учащимися, поскольку увеличение длины предложения коррелирует с ростом синтаксической сложности.

Однако данный инструмент не может являться единственным инструментом для оценки сложности текста. Далее был определен индекс читаемости Flesch Reading Ease (FRE) для каждого из текстов.

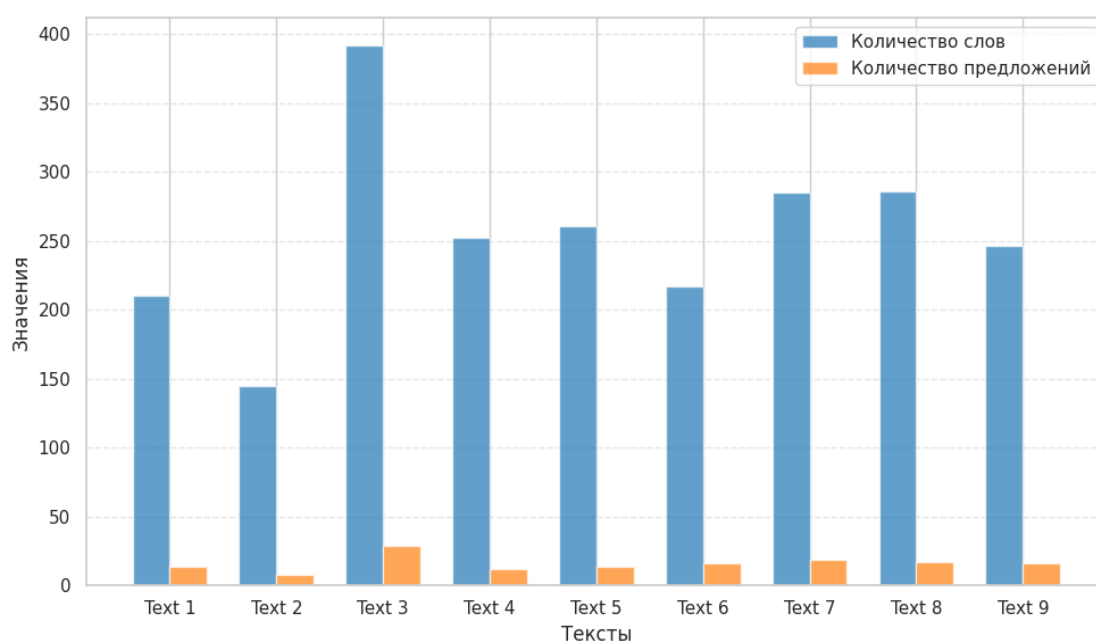


Рис. 1. Сравнение слов и предложений в текстах

2. Индекс читаемости Flesch Reading Ease (FRE)

Для оценки читаемости и сложности текстов на английском языке существуют формулы Флеша–Кинкейда [2]. Первая формула Flesch Reading Ease предназначена для оценки сложности текста. Формула учитывает среднюю длину предложений и среднее количество слогов в слове. Вторая формула Flesch-Kincaid Grade Level учитывает всё те же показатели, однако переводит полученные данные в шкалу американских школьных классов в США, в котором ученик сможет понять текст. Результат FRE находится в диапазоне от 0 до 100, где высокие значения указывают на более лёгкий для восприятия текст, а низкие — на более сложный. [3]. Ряд исследователей применяли данные формулы для оценки учебных материалов [4, 5]. Например, Маник С.А. и Смирнова В.Л. в исследовании «Современные подходы к анализу сложности учебного текста на материале учебников английского языка» воспользовались зарубежными онлайн-сервисами TextInspector, English Vocabulary Profile для оценки по Flesch-Kincaid Grade Level. Результатом стал анализ текстов двух учебников “High–Intermediate 3” (Iran Language Institute, 2008) и “New Headway Upper–Intermediate” Soars [6]. Для автоматизированной оценки читаемости и сложности текстов на английском языке мы используем библиотеку textstat для языка программирования Python [7]. Эта библиотека реализует формулы Flesch Reading Ease и Flesch-Kincaid Grade Level.

Анализ показателей индекса читаемости по шкале Flesch Reading Ease (FRE) выявил различия в уровне удобочитаемости текстов УМК “Spotlight” для 8 класса (модуль “Spotlight on Russia”). Наиболее высокие значения FRE зафиксированы во втором ($\approx 82,8$) и первом ($\approx 79,2$) текстах, что указывает на их высокую читаемость и простоту для понимания читателями. Наименее читаемым оказался пятый текст ($\approx 51,8$), что связано с более длинными предложениями и большим количеством слов на предложение, а также с повышенной лексической насыщенностью. В среднем, значения индекса по всем текстам варьируются от 64 до 77, что свидетельствует о достаточно высокой доступности материалов для учащихся 8 класса. Чем ниже, тем сложнее.

Таким образом, тексты демонстрируют разнообразие в уровне удобочитаемости: от легких для восприятия до текстов средней сложности, что может быть учтено при подборе материалов для различных возрастных групп или уровней подготовки.

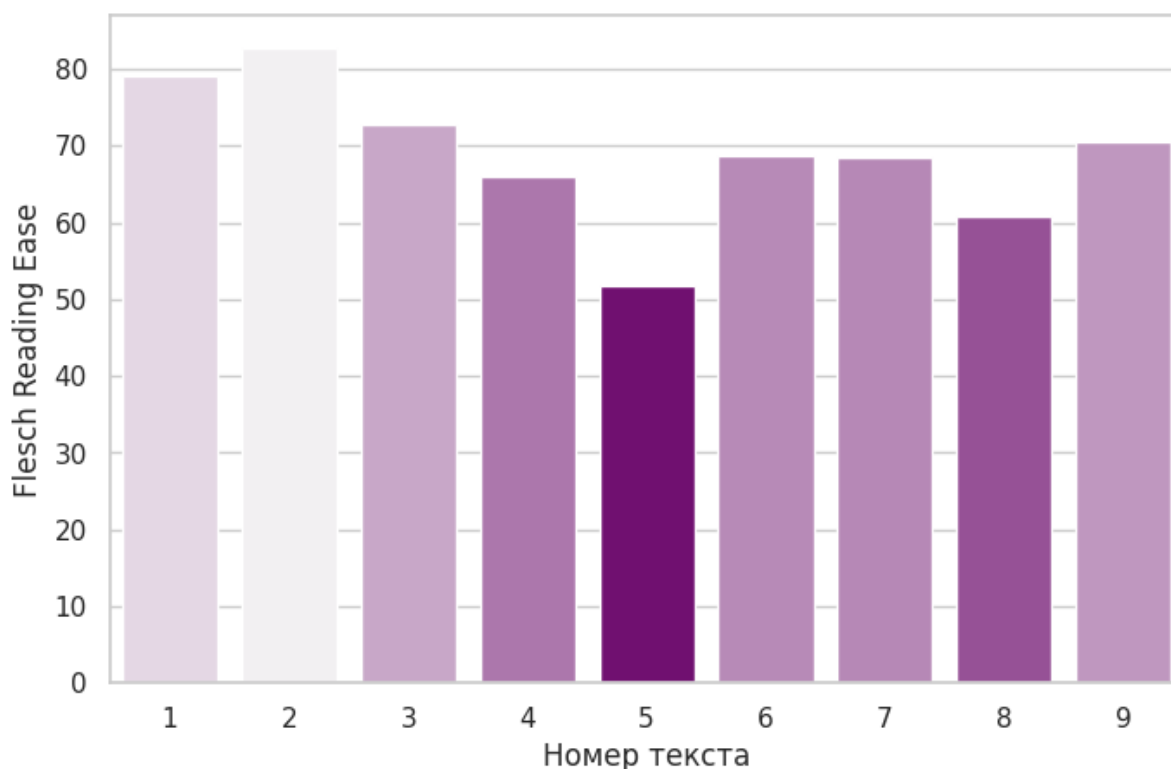


Рис. 2. Оценка читаемости текстов по шкале Flesch Reading Ease

3. Лексическое разнообразие (TTR)

Для определения лексического разнообразия в текстах нами был написан скрипт для измерения коэффициента лексического разнообразия (англ. lexical diversity), являющийся количественным показателем степени богатства словаря текста. Данный показатель основан на соотношении числа различных слов (лемм) к общему количеству словоупотреблений. Библиотека LexicalRichness [8] для языка программирования Python реализует данную метрику как Type-Token Ratio (TTR) в своем функционале. Метрика позволяет автоматизированно оценить, насколько разнообразно используется лексика.

Высокое значение TTR говорит о том, что в тексте используется много уникальной (употребленной единожды) лексики по сравнению с его объёмом, то есть текст характеризуется богатым словарным составом. Если в тексте часто повторяются одни и те же слова, такой текст будет проще читать из-за меньшего объема уникальных лексических единиц. В контексте учебных текстов TTR не должен быть излишне высоким. Для начального уровня изучения языка TTR может быть более низким, так как учащиеся лучше усваивают повторяющуюся лексику. С увеличением языкового уровня КЛР может возрастать.

Анализ лексического разнообразия УМК “Spotlight” для 8 класса с использованием показателя Type-Token Ratio (TTR) показал, что тексты различаются по насыщенности лексикой. Наиболее высокий уровень разнообразия отмечен во втором тексте ($\approx 0,637$) и шестом тексте ($\approx 0,581$), что свидетельствует о большем числе уникальных слов относительно общего объема текста. Наименее разнообразным оказался третий текст ($\approx 0,496$), а также первый ($\approx 0,512$) и четвертый ($\approx 0,506$) тексты, что указывает на более повторяющуюся лексику и меньшую вариативность словоупотребления. В целом, TTR демонстрирует умеренные колебания от 0,496 (Текст 3) до 0,637 (Текст 2), что отражает различную степень лексической насыщенности текстов.

4. Межъязыковая прозрачность по шкале Левенштейна

Расстояние Левенштейна (редакционное расстояние) – это метрика, определяющая разность между двумя последовательностями символов. Измеряется как минимальное количество односимвольных операций (вставки, удаления, замены) необходимых для превращения одной последовательности в другую. Результат, получаемый при оценке индекса межъязыковой прозрачности, варьируется от 0 (абсолютное несовпадение) до 1 (полная идентичность строк).

С помощью метода ratio выполнялся автоматизированный подсчет редакционного расстояния для каждого слова модуля. Поскольку в исследовании сопоставлялись слова русского и английского языков, был использован модуль deep-translator (библиотека Python, обеспечивающая доступ к различным онлайн-сервисам перевода, включая DeepL, Google Translate, Microsoft Translator и др.). В реализованной нами программе применялся Google Translate, а также модуль transliterate, выполняющий транслитерацию кириллических слов в латиницу [9]. Такой подход позволил выявить кальки и лексические единицы с высокой степенью графико-фонетического сходства. Результаты показали, какие слова могут усваиваться быстрее за счёт сходства с родным языком, а какие требуют дополнительного разъяснения.

Показатель межъязыковой прозрачности (similarity) оказался относительно стабильным во всех рассматриваемых текстах и составил 0.3154. Это значение отражает усреднённый уровень лексической близости между английскими словами и их переводами для данного класса. Данный параметр дополняет традиционные метрики читаемости, такие как индекс Flesch Reading Ease, позволяя учитывать фактор сопоставимости лексики на двух языках и тем самым расширяя представление о сложности и воспринимаемости учебного материала.

Таблица 1 демонстрирует результаты количественного анализа текста, включающие показатели читаемости, разнообразия словаря и синтаксической сложности. В дальнейшем рассмотрим также качественные характеристики материала.

Таблица 1. Количественные показатели сложности текстов

№ Текста	Кол-во слов	Кол-во предложений	Levenshtein	Flesch Reading Ease	TTR	Средняя длина предложения
1	210	14	0,2656161436	79,21285714	0,5115207373	15
2	145	8	0,2302548309	82,83398707	0,6369863014	18,1
3	392	29	0,335800009	72,6894898	0,4962216625	13,5
4	252	12	0,3720527549	66,00571429	0,5061728395	21
5	261	14	0,3747127882	51,77456897	0,5606060606	18,6
6	217	16	0,2680559576	68,70316388	0,5806451613	13,6
7	285	19	0,29984402	68,42052632	0,5178571429	15
8	286	17	0,3331218782	60,78848828	0,5776173285	16,8
9	246	16	0,3087133214	70,5196189	0,5655737705	15,4

5. Распределение лексики по уровням CEFR

В Европе для оценки уровня владения иностранными языками используют шкалу CEFR (Common European Framework of Reference for Languages), состоящую из шести ступеней — от начального A1 до продвинутого C2. [10]. Онлайн словари и базы данных Oxford Learner's Dictionaries, English Vocabulary Profile, CEFR-J являются удобным инструментом, позволяющим определять принадлежность слов к уровням владения языком по системе CEFR. Уровень позволяет сделать вывод о сложности текста, исходя из его лексического наполнения. Для определения лексического уровня слов в исследовании использовалась созданная нами база данных CEFR на основе вышеупомянутых онлайн словарей и баз данных. С помощью сопоставления исходных текстов учебников с базой данных была проведена классификация слов по уровням владения языком (A1–C2), что дало возможность оценить распределение лексики по уровням в каждом учебнике и классе.

Данный анализ базировался на подсчёте количества токенов каждого уровня и их процентного соотношения от общего объёма текста. Токены, отсутствующие в базе данных маркировались как off-list. В основном это были числа, даты и русские слова, перешедшие в английский и не имеющие аналогов в языке-приёмнике, например: tapki, borsch, balalaika и др.

Результаты показали, что в большинстве текстов преобладает лексика уровня A1 (58–79%). Слова уровня A2 встречаются реже (6–14%), B1–B2 составляют 1–12%. Лексика более высоких уровней (C1–C2) и Off-List встречается крайне редко (0–17%), что минимизирует перегрузку учащихся сложными словами.

Таким образом, основной объём материала модуля «Spotlight on Russia» для 8 класса представлен базовой лексикой (A1–A2), при этом отдельные элементы более высокого уровня создают возможности для постепенного расширения словарного запаса.

Таблица 2. Уровень CEFR

Text	A1	A2	B1	B2	C1	C2	Off-List
Text 1	79	9	3	4	1	1	3
Text 2	76	12	10	1	0	0	1
Text 3	64	14	8	2	1	1	11
Text 4	58	12	7	4	0	2	17
Text 5	62	12	9	8	2	1	6
Text 6	69	6	10	4	1	2	8
Text 7	62	14	7	2	2	1	11
Text 8	67	11	7	2	1	1	12
Text 9	66	13	12	2	0	1	6

Таким образом, распределение лексики по CEFR отражает, что основной акцент модуля сделан на усвоении базовой и средней лексики, а более сложные элементы служат для постепенного расширения словарного запаса и развития языковой компетенции.

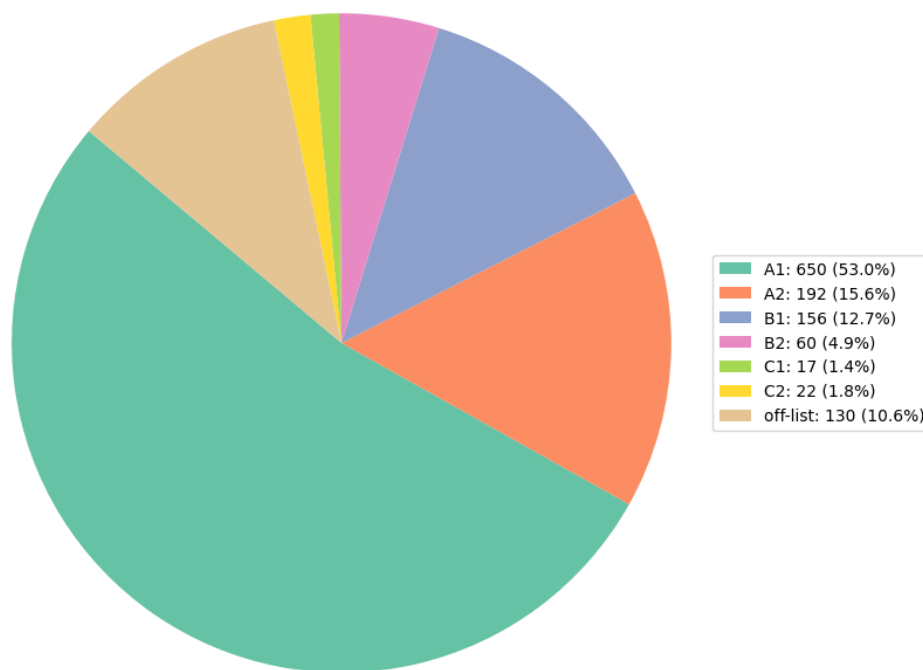


Рис. 3. Совокупное распределение слов текстов модуля по шкале CEFR

Выводы

Полученные результаты демонстрируют, что разработанные параметры с применением методов NLP для оценки сложности иноязычных текстов позволяют объективно определить уровень сложности иноязычных текстов учебного материала. В ходе анализа текстов модуля «Spotlight on Russia» для 8 класса был выявлен индекс Flesch Reading Ease, который варьируется в пределах 51,8–82,8, что соответствует диапазону от умеренно сложного до легко читаемого текста. Более высокие значения FRE наблюдались в текстах с меньшей средней длиной предложений и более короткими словами, что облегчает восприятие материала учащимися. Показатели TTR и индекса межъязыковой прозрачности дополнительно подтверждают разнообразие лексики. Анализ по шкале CEFR выявил преобладание лексики уровней A2–B1 с редкими включениями B2, что соответствует целевому уровню подготовки учащихся.

В перспективе для дальнейших исследований – расширить выборку за счёт анализа учебных материалов других классов, применить более сложные метрики читаемости и интеграции методов машинного обучения для автоматической адаптации текстов под уровень учащихся.

Список использованных источников

1. УМК «Английский в фокусе» (Spotlight) для 2-11 классов общеобразовательных учреждений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nsportal.ru/user/172854/page/umk> (дата обращения: 06.09.2025).
2. Beyond Word Segmentation: Improving Contextual Embeddings for Educational NLP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aclanthology.org/2024.paclic-1.94.pdf> (дата обращения: 04.09.2025).
3. Kincaid J.P., Fishburne R.P., Rogers R.L., Chissom B.S. Derivation of new readability formulas (automated readability index, fog count, and flesch reading ease formula) for Navy enlisted personnel (Report). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA006655.pdf> (дата обращения: 04.09.2025).
4. Beyond Flesch-Kincaid: Prompt-based Metrics Improve Difficulty Classification of Educational Texts. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/380608061_Beyond_Flesch-Kincaid_Prompt-based_Metrics_Improve_Difficulty_Classification_of_Educational_Texts (дата обращения: 04.09.2025).

5. An Open Educational Resource for Teaching Revision: Flesch-Kincaid Readability Statistics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/365813147_An_Open_Educational_Resource_for_Teaching_Revision_Flesch-Kincaid_Readability_Statistics (дата обращения: 04.09.2025).
6. Khodadady E., Mehrazmay R. Evaluating two high intermediate EFL and ESL textbooks: a comparative study based on readability indices. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/323774454_Evaluating_Two_High_Intermediate_EFL_and_ESL_Textbooks_A_Comparative_Study_Based_on_Readability_Indices (дата обращения: 04.09.2025).
7. Textstat: Python package to calculate readability statistics of a text. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://textstat.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 04.09.2025).
8. LexicalRichness: a small Python module to compute textual lexical richness (aka lexical diversity). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pypi.org/project/lexicalrichness/> (дата обращения: 04.09.2025).
9. Transliterate: bi-directional transliterator for Python (with usage and examples). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://transliterate.readthedocs.io/en/latest/#usage-and-examples> (дата обращения: 04.09.2025).
10. What is the CEFR? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cef.fr/what-is-the-cefr/> (дата обращения: 06.09.2025).

УДК 811

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАФОРИЧЕСКОЙ НАСЫЩЕННОСТИ В ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ XX И XXI ВЕКОВ

Леонов Т.В. (аспирант, НИУ ВШЭ)

Научный руководитель: доктор наук, профессор Нагорная А.В. (НИУ ВШЭ)

e-mail: tleonov@hse.ru

В работе рассмотрено применение количественного анализа метафорической насыщенности лингводидактического дискурса с целью выявления динамики использования метафоры в книгах для преподавателей английского языка XX и XXI веков, что обосновано необходимостью объективизации исследований дискурса в условиях трансформации коммуникативных практик под влиянием цифровизации образования и клипового мышления современной аудитории для разработки эффективных методических подходов к созданию учебных материалов.

Ключевые слова: метафорическая плотность, лингводидактический дискурс, диахронический анализ, концептуальная метафора, персуазивная функция.

Введение

Современный этап технологического развития, отмеченный состоянием информационной перегрузки, приводит к существенной трансформации когнитивных механизмов селекции и обработки информации человеком. В условиях клипового мышления и постоянного информационного потока читатели предпочитают более сжатые, яркие формы подачи материала, а возникновение искусственного интеллекта (ИИ), который генерирует тексты с неестественными дискурсивными паттернами и структурами, кардинально изменяет дискурсивные практики и языковые стратегии авторов. Данные процессы затрагивают и лингводидактический дискурс, где авторы учебных материалов и методических разработок вынуждены адаптироваться к новым условиям восприятия информации читателями.

Метафора является одним из ключевых элементов лингводидактических текстов по нескольким важным причинам. Во-первых, концептуальные метафоры позволяют авторам структурировать и концептуализировать сложную педагогическую реальность, вербализуя при этом свои мысли, поскольку, как отмечают исследователи, сами процессы мышления человека в значительной степени метафоричны [1]. Метафоризация, основанная на взаимодействии когнитивных структур «источника» и «цели», обеспечивает более доступное понимание абстрактных концепций. Во-вторых, авторы используют метафоры преднамеренно как инструмент персуазивного и суггестивного воздействия на читателя [2]. Такие метафоры позволяют не только донести определенную идею, но и убедить аудиторию в правильности предлагаемых методических решений, формируя у читателей необходимое отношение к изучаемому материалу. В условиях трансформации дискурсивных практик XXI века исследование динамики метафорической насыщенности лингводидактических текстов приобретает особую актуальность для понимания эволюции педагогической коммуникации.

Цель настоящего исследования заключается в проведении сравнительного количественного анализа метафорической насыщенности лингводидактического дискурса XX и XXI веков. Для достижения данной цели необходимо было отобрать и систематизировать корпус лингводидактических текстов XX и XXI веков, репрезентативный для каждого периода, затем определить методику выявления и классификации метафорических единиц, провести количественный анализ метафорической плотности текстов обоих периодов и, сопоставив полученные данные, выявить значимые функциональные различия в метафорической насыщенности лингводидактических текстов разных временных периодов.

Существующие исследования метафоры в дискурсе характеризуются преимущественно качественным подходом. Работы А.П. Чудинова [3], З. Кёвечеша [4], А.Н. Баранова [5] сосредоточены на когнитивном анализе концептуальных метафор без систематического количественного измерения их частотности. Исследования метафорической компетенции [6] и в области функционирования метафоры в образовательном дискурсе [7] ориентированы на

педагогические аспекты обучения метафоричности речи, но не затрагивают диахронического сравнения текстов.

Именно поэтому мы будем опираться на модель определения метафор в дискурсе, разработанную в исследовании Сунь, Калинина, Игнатенко [8]. Более того, мы придерживаемся концептуальной теории метафоры [1] и преднамеренной метафоры, а также методу идентификации метафор в тексте MIPVU [2]. В работе также были использованы: контент-аналитическое исследование, метод диахронического анализа и концептуальный и функциональный анализ выявленных метафор.

Практическая ценность данного исследования заключается в измерении когнитивной нагрузки текстов с помощью вычисления метафорической насыщенности, что позволит объективизировать изучение данного типа дискурса.

Обсуждение и результаты

Посредством данного метода были проанализированы книги двух именитых авторов, представляющих лингводидактический дискурс: Скотта Торнбери и Джереми Хармера. Оба автора являются признанными авторитетами в области методики преподавания английского языка, а их произведения широко используются в профессиональном сообществе преподавателей иностранных языков по всему миру. В частности, в рамках диахронического анализа мы выбрали их книги *About Language* [9], *30 Teaching Methods* [10] у С. Торнбери и *Teaching and Learning Grammar* [11], *50 Communicative activities* [12] у Дж. Хармера, так как данные тексты характеризуются высокой степенью метафоричности и были написаны в XX в XXI веке, соответственно.

Для подсчета была использована формула, которой пользуются зарубежные и отечественные ученые [8]:

$$MD = MQ \times 1000 / SV,$$

где MD (metaphorical density) — метафорическая насыщенность или плотность, MQ (metaphorical quantity) — количество метафор, а SV (speech volume) — количество слов в тексте. Следовательно, метафорическая плотность двух книг XXI века – 7,56 метафор на 1000 слов, исходя из формулы расчета, $(562 / 74348) \times 1000 = 7,56$. В это же время метафорическая плотность двух книг XX века – метафор на 1000 слов, исходя из формулы расчета, $(380 / 56897) \times 1000 = 6,68$.

Полученные данные демонстрируют статистически значимое увеличение метафорической плотности. Показатели можно проанализировать с нескольких точек зрения. Исходя из концептуального анализа, наблюдается эволюция когнитивных стратегий. Она проявляется в трансформации педагогического знания в условиях цифровизации образования. Иными словами, концептуализация педагогического опыта происходит более метафорично:

- «Classroom as complex ecology» [10, с. 102] класс может быть представлен в сознании читателя как сложная экосистема динамического взаимодействия;
- «Learning as organic growth» [12, с. 14] обучение иностранному языку – это органический рост, похожий на растение, при правильных условиях питания»;
- «Lesson design as problem framing» [10, с. 27] дизайн урока является формулированием проблемы, где учителя подобно архитектору проектирует решение проблемы.

Из этого следует, что современные авторы лингводидактических текстов используют метафоры как когнитивные мосты для преодоления разрыва между традиционными педагогическими концепциями и новыми реалиями цифрового обучения.

С точки зрения функционального анализа, авторы более часто используют метафоры преднамеренно. Наблюдается персуазивная функция, а именно усиление убеждающего потенциала метафоры в современном лингводидактическом дискурсе. Читателей убеждают в том, что их профессия требует творческого подхода и мастерства, а не механического следования инструкциям:

- «Teachers are artists» [10, с. 2]. Учителя – это художники, которые придают форму и смысл своему креативному ремеслу;

- «Teaching is as much an art as a science» [10, с. 2]. Преподавание – это одновременно искусство и наука, так что важен баланс между творчеством и осуществлением прогресса;
- «Teachers as craftsmen» [12, с. 37]. Учителя похожи на ремесленников, которые создают уроки для конкретных обстоятельств.

Тем не менее, в XX веке данная профессия понималась иначе: «likewise, language teachers, regardless of the methodology they adopt, are still language teachers. Whether or not they choose to make explicit to the learners the systems underlying the language they are teaching, they are still bound to be authorities in the language itself». содержит метафору обязательства как неизбежной связи. Слово «bound» (связанный, обязанный) актуализирует концептуальную метафору ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЭТО УЗЕЛ/СВЯЗЬ, которая представляет педагогические обязанности как нечто нерасторжимое. Понятие «authorities in the language itself» активирует метафору авторитета или концептуальную модель ЗНАНИЕ КАК ВЛАСТЬ. Учитель концептуализируется как властитель языковой территории, независимо от используемых методов. Прослеживается оппозиция не только в количестве используемых метафор, но и во взглядах на профессию. Авторы XXI века активнее используют метафору для формирования определенных профессиональных установок и методических предпочтений у читателей.

Более того, увеличение метафорической насыщенности наблюдается при объясняемых абстрактных концепциях. Многие метафоры были использованы для упрощения понимания педагогических концепций:

- «Lesson plan is like an architect's blueprint» [10, с. 105] С. Торнбери концептуализирует план урока как архитектурный чертеж, который структурирует работу учителя, но не ограничивает творчество и полет фантазии;
- «Think of a lesson plan as a kind of climbing frame» [11, с. 79] Дж. Хармер концептуализирует план урока как спортивный каркас, обеспечивающий структуру урока;
- «Text as an onion with several layers» [10, с. 67] текст понимается как луковица с несколькими слоями, которые нужно как преподавателю, так и ученику очищать (интерпретировать, анализировать) последовательно;
- «Language as a living organism» [12, с. 31] язык сравнивается по своей природе с живым и подвижным объектом, который сопротивляется жесткой категоризации.

Именно метафоры выступают как инструменты концептуального моделирования, упрощающие восприятие многокомпонентных педагогических систем. К тому же, метафоры служат упрощенному запоминанию учебного материала в условиях информационной перегрузки, характерной для современного образовательного контекста.

Можно также интерпретировать данные дискурсивно. Полученные результаты указывают на качественную трансформацию лингводидактического дискурса под влиянием социотехнологических факторов. Статистически значимый прирост метафорической плотности (13,2%) отражает адаптивную реакцию педагогического сообщества на изменившиеся условия коммуникации и когнитивные особенности современной аудитории, так как целевая аудитория может обладать клиповым мышлением. Данная динамика свидетельствует о профессионализации метафорического инструментария в лингводидактике: авторы XXI века демонстрируют более осознанное и целенаправленное использование образных средств как технологии педагогического воздействия.

Выводы

Проведенное лингвистическое исследование показало статистически значимое увеличение метафорической плотности в лингводидактическом дискурсе XXI века по сравнению с XX веком. Данные указывают на качественную трансформацию педагогической коммуникации под влиянием цифровизации образования и когнитивных особенностей современной аудитории.

Концептуальный анализ выявил эволюцию когнитивных стратегий, проявляющуюся в использовании метафор как мостов между традиционными педагогическими концепциями и

реалиями современного обучения, в то время как функциональный анализ показал усиление персуазивной функции метафор для формирования профессиональных установок читателей. Полученные результаты свидетельствуют о профессионализации метафорического инструментария в лингводидактике как адаптивной реакции на информационную перегрузку и клиповое мышление современной аудитории. Направлениями дальнейшего развития проблемы являются расширение корпуса исследуемых текстов для повышения репрезентативности выборки, что является частью диссертации автора исследования.

Список использованных источников

1. Lakoff G., Johnson M. *Metaphors We Live By*. — Chicago: University of Chicago Press. 1980. 193 p.
2. Steen G.J., Dorst A.G., Herrmann J.B., Kaal A., Krennmayr T., Pasma T. *A Method for Linguistic Metaphor Identification: From MIP to MIPVU*. — Amsterdam; Philadelphia: John Benjamins Publishing Company. 2010. 238 p.
3. Солопова О.А., Чудинов А.П. Методология диахронического исследования политической метафоры в эпоху цифровизации: опыт практического анализа // Вестник Московского университета. Серия 9. Филология. 2021. № 3. С. 32–43.
4. Kövecses Z. *Where metaphors come from. Reconsidering context in metaphor*. — Oxford & New York: Oxford University Press, 2015. DOI: 10.29302/jolie.2016.9.3.11.
5. Баранов А.Н. Политическая метафорика публицистического текста: возможности лингвистического мониторинга // Володина М.Н. (ред.). *Язык СМИ как объект междисциплинарного исследования*. — Москва: МГУ. 2003. С. 134–140.
6. Алексеева Л.М., Мишланова С.Л. Формирование метафорической компетенции // Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. 2016. № 4(36). С. 98–107.
7. Cameron L. *Metaphor in Educational Discourse*. — London; New York: Continuum. 2003. 294 p.
8. Сунь Ю., Калинин О.И., Игнатенко А.В. Использование индексов метафоричности для анализа речевого воздействия метафоры в текстах публичных выступлений политиков // *Russian Journal of Linguistics*. 2021. Т. 25. № 1. С. 250–277.
9. Thornbury S. *About Language: Tasks for Teachers of English*. Cambridge: Cambridge University Press. 1999. 269 p.
10. Thornbury S. *Scott Thornbury's 66 Essentials of Lesson Design*. — [Б. м.]: Independently published. 2024. 120 p.
11. Harmer J. *Teaching and Learning Grammar*. London: Longman. 1989. 71 p.
12. Harmer J. *Jeremy Harmer's 50 Communicative Activities*. Cambridge: Cambridge University Press. 2022. 120 p.

УДК 37.02:81'25:004.8

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЯЗЫКОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЕТЕЙ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ AI-СГЕНЕРИРОВАННЫХ ПЕСЕН ПО МЕТОДИКЕ В.Н. МЕЩЕРЯКОВОЙ

Мешкова М. (студент, НИУ ВШЭ)

Научный руководитель: к.филол.н., доцент Косычева М.А. (НИУ ВШЭ)

e-mail: mmeshkova_1@edu.hse.ru

В статье рассматривается опыт интеграции AI-сгенерированных песен в методику преподавания английского языка В.Н. Мещеряковой на примере школы дополнительного образования Friends. Актуальность работы определяется необходимостью обновления традиционного песенного материала, эффективность которого доказана, но который при длительном использовании утрачивает мотивационный эффект. Цель исследования заключается в определении возможностей генеративных технологий для повышения вовлеченности учащихся и эффективности усвоения материала. В исследовании использовались методы анализа научной литературы, описательный метод и педагогическое наблюдение. На основе практического опыта школы Friends показано, что использование платформы Suno.ai для создания песенных треков позволяет интегрировать новые музыкальные формы в традиционные этапы обучения (speak, read, write, colour reading, clumsy). Результаты апробации показали рост вовлеченности учащихся, снижение страха ошибок, повышение уверенности и интереса к повторению материала. Таким образом, интеграция генеративного искусственного интеллекта в методику В.Н. Мещеряковой позволяет устранить проблему однообразия и расширяет ее дидактический потенциал.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генеративные модели, Suno.ai, методика В.Н. Мещеряковой, языковое образование, музыкально-ритмические разминки.

Введение

Современное языковое образование переживает значительные изменения под влиянием цифровизации и внедрения технологий искусственного интеллекта. В ряде исследований подчеркивается, что цифровые инструменты становятся неотъемлемой частью учебного процесса, изменяя способы взаимодействия учащихся с материалом и преподавателем. В частности, Chen и соавт. (2020) отмечают, что использование алгоритмов ИИ позволяет адаптировать содержание курсов к индивидуальным потребностям учащихся [1], а Holmes и Tuomi (2022) указывают на потенциал ИИ в создании персонализированных траекторий обучения [2]. Генеративные сервисы, в свою очередь, открывают возможность создания новых форм учебного контента — от текстов и диалогов до музыкальных композиций, что позволяет расширить традиционный арсенал методических средств.

При этом сохраняют свою значимость проверенные авторские методики, основанные на использовании аудирования, песен и игровых форм, эффективность которых подтверждена как отечественными, так и зарубежными исследованиями [3–6]. Однако педагогическая педагогический опыт свидетельствует, что при длительном применении традиционный песенный материал может восприниматься учащимися как однообразный, что снижает его мотивационный эффект. В этой связи возникает необходимость поиска инструментов, которые позволили бы оживить процесс обучения, сохранив структуру и основные принципы традиционной методики.

Настоящая работа направлена на исследование возможностей интеграции генеративных технологий в методику В.Н. Мещеряковой с целью повышения вовлеченности учащихся и эффективности усвоения учебного материала. В работе решались следующие задачи: (1) провести анализ теоретических подходов к использованию песенного материала в преподавании иностранных языков; (2) идентифицировать направления практического применения генеративных ИИ-инструментов в языковом образовании; (3) описать опыт внедрения AI-сгенерированных песен в занятия по методике В.Н. Мещеряковой; (4) оценить педагогические эффекты и выявить методические рекомендации для дальнейшей апробации.

Проблематика влияния песен и музыкально-ритмических приемов на обучение иностранным языкам рассматривалась в исследованиях Эпштейна (2022), Насибулиной и

Синицыной (2010) [4, 7]. В то же время интеграция технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс стала активно изучаться лишь в XXI веке [1, 2, 8], однако применение AI-сгенерированных музыкальных материалов в качестве педагогического инструмента остается малоизученным и требует более тщательного анализа.

Информационную базу исследования составили материалы методики В.Н. Мещеряковой [3], публикации по применению цифровых технологий и искусственного интеллекта в образовании [1, 2, 9], а также эмпирический опыт школы Friends [10]. В работе использовались методы анализа научной литературы, описательный метод и педагогическое наблюдение.

Анализ литературы

В последние десятилетия в педагогической литературе отмечается устойчивый интерес к использованию музыки и песенного материала в преподавании иностранных языков [4, 11], а в XXI веке эта тема получила новый импульс в связи с развитием технологий искусственного интеллекта [1, 2]. С одной стороны, зарубежные авторы сосредотачиваются на возможностях ИИ для расширения учебного пространства и персонализации обучения [8, 9], с другой — российские исследователи накапливают опыт применения песенно-ритмических приемов в работе с детьми [3, 5]. Однако интеграция этих двух направлений до сих пор остается малоизученной, что создает существенный пробел в научных данных.

Godwin-Jones [9] в обзоре новейших тенденций указывает, что образовательные чат-боты, виртуальные миры и генеративные сервисы открывают новые форматы обучения, но их эффективность определяется не самим фактом внедрения, а тем, насколько органично они вписаны в педагогический сценарий. Автор предупреждает о рисках поверхностного использования технологий, которое может привести к снижению качества образования. Winkler и Söllner [12] приходят к аналогичному выводу, выделяя три условия успешного внедрения цифровых агентов в образование: ясность цели, согласование с существующими методиками и системная оценка влияния на учебную деятельность. Эти аргументы перекликаются с нашей задачей: использование Suno.ai [13] в школе Friends [10] ценно не как демонстрация технологических возможностей, а как педагогически мотивированный способ обновления песенных упражнений в рамках методики В.Н. Мещеряковой [3].

Kaspesic и соавторы [8] анализируют возможности и риски больших языковых моделей и предлагают рамку для оценки образовательных технологий по критериям функциональности, достоверности и необходимости педагогической валидации. В их работе подчеркивается: генеративные инструменты могут быть полезны, только если педагог включен в цикл проверки и адаптации результатов. Это замечание справедливо и для музыкальных сервисов: автоматическая генерация вокала и текста не гарантирует методической пригодности, поэтому требуется корректировка лексики, ритма и артикуляции. Таким образом, данная публикация помогает объяснить необходимость «human-in-the-loop» протокола, который мы применяем в Friends [10].

Bibauw, François и Desmet [6], исследуя диалоговые CALL-системы, показывают, что ключевым фактором эффективности является не сама технология, а качество создаваемого ею сценария взаимодействия. Для нас этот вывод особенно важен: AI-трек — это не просто фон, а структурированная среда для многократных повторений, организованных в ритме call-and-response. Таким образом, мы можем позиционировать генерацию песен как создание учебных сценариев, где дети тренируют грамматические формы в безопасной и мотивирующей атмосфере.

В российской методической литературе внимание традиционно сосредоточено на эффективности песенного материала в преподавании английского языка детям. Мещерякова [14] и ее последователи подчеркивают, что песни и ритмические упражнения формируют языковое чутье, снижают тревожность и мотивируют к активной деятельности. Исследования Эпштейн [4], Насибулиной и соавторов [7], Высоцкой [5] и др. подтверждают, что песни способствуют лучшему восприятию речи на слух, улучшению произношения и долговременной памяти. Ерыкина в диссертационном исследовании [11] рассматривает методику интеграции аутентичного песенного материала и приходит к выводу, что

музыкальные формы действительно обогащают языковую среду. Однако в этих работах отмечается и существенное ограничение: использование фиксированного репертуара приводит к однообразию и снижению мотивации при длительном применении. Обзорные статьи [16] подчеркивают, что методическая ценность песен очевидна, но вопрос обновления и адаптации репертуара остается открытым.

Интересно сопоставить эти выводы с зарубежными публикациями. Если Godwin-Jones и Winkler & Söllner предупреждают об опасности поверхностного применения технологий [9, 12], то российские исследователи фиксируют проблему «усталости» от неизменного материала [4, 5]. В обоих случаях речь идет о снижении мотивации, но объясняется оно по-разному: в международных исследованиях — чрезмерной технологичностью без методической подоплеки, в отечественных — избыточной статичностью педагогического инструментария. В этом и заключается противоречие: педагогика и технология как будто развиваются параллельно, не соединяясь.

Для контрастного анализа стоит упомянуть и другие методики. Например, коммуникативный подход (Communicative Language Teaching, CLT) в отечественных исследованиях [17] рассматривает песни как средство создания аутентичного контекста общения и развития коммуникативной компетенции. В отличие от систематических упражнений Мещеряковой, где акцент делается на ритмической отработке формы, CLT предполагает использование песен в свободных речевых заданиях, ролевых играх и обсуждениях. Это различие показывает, что ИИ-генерация может быть применена и для коммуникативных целей, создавая аутентичные песни-сценарии, а не только упражнения для отработки грамматики.

Таким образом, обзор литературы позволяет сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, и зарубежные, и российские исследования признают высокую эффективность песенно-ритмических упражнений и в то же время фиксируют снижение их мотивационного потенциала при длительном применении. Во-вторых, в международных публикациях подчеркивается необходимость методической интеграции технологий ИИ, а в российских работах почти не рассматривается вопрос обновления репертуара средствами генеративных сервисов. В-третьих, существует противоречие между признанной ценностью музыкального компонента в обучении и отсутствием исследований о том, как новые технологии могут оживить этот компонент. Именно это противоречие и восполняет опыт школы Friends [10], демонстрируя возможности синтеза традиционной методики В.Н. Мещеряковой [3] и генеративных инструментов.

Описание кейса: опыт школы Friends

Исследование базируется на практике школы дополнительного образования Friends [10], где занятия английским языком проводятся по методике В.Н. Мещеряковой [3]. Эта методика предполагает прохождение последовательных этапов направленных на развитие разговорного навыка, *speak — read — write*, и интеграцию песенного материала на каждом из них. Песни выполняют роль ритмической и эмоциональной опоры, снижают уровень тревожности и формируют языковое чутье. Однако педагогический опыт показал, что при многократном использовании фиксированный репертуар утрачивает новизну, что приводит к снижению мотивации и вовлеченности учащихся.

Для решения этой проблемы в школе был применен генеративный искусственный интеллект. С помощью платформы Suno.ai создавались новые музыкальные треки, которые встраивались в уже существующую методическую структуру. В отличие от ступеней «Speak» и «Write», где при вводе указывался только жанр — хип-хоп, для генерации треков со ступени «Read» использовался промт:

«The track is a hip-hop arrangement at approximately 90 bpm in the key of C minor. The core instrumentation features a looped sample of an upright piano playing a syncopated melodic phrase with a swing» (композиция представляет собой хип-хоп-аранжировку со скоростью примерно 90 ударов в минуту в тональности до минор. В качестве основного инструментария используется заикленный сэмпл пианино, играющего синкопированную мелодическую фразу с колебаниями).

Такой подход позволял получать более ритмически устойчивые композиции, удобные для хорового повторения.

На этапе «Speak» песни сопровождали темы *guest* с отработкой местоимения *you*, *play games* (набор из базовых словосочетаний глагол+существительное), *routine in the afternoon/evening/morning*. Музыкальное сопровождение здесь помогало удерживать внимание и стимулировало устную активность даже у менее уверенных учеников.

На этапе «Read» AI-треки были интегрированы в широкий спектр лексико-грамматических упражнений:

- (1) *What can we do with a ball?* — тренировка предлогов места и направления;
- (2) *Beautiful – more beautiful – the most beautiful* — отработка степеней сравнения прилагательных;
- (3) *Guest he (his), guest she (her)* — закрепление местоимений и вопросительных конструкций по отношению к объекту;
- (4) *How / What / When / Where / Why* — отработка вопросов в коммуникативных контекстах;
- (5) *I usually go / but yesterday I went, I usually go / but he usually goes* — противопоставление времен и согласование подлежащего и сказуемого.

На этапе «Write» песни использовались для более сложных тем: условные предложения, модальные глаголы, фразы-клише для дебатов, связующие фразы для повествования истории. Музыка выполняла функцию структурного каркаса: помогала удерживать последовательность и снижала когнитивную нагрузку при решении сложных задач, благодаря закрепившимся в речи конструкциям за счет частоты повторений.

Кроме того, самой популярной песней среди учеников стала разминка на три формы неправильных глаголов, используемая на этапах, уделяющих внимание постановке навыка чтения – *colour reading* и *clumsy*. Для школьников и подростков оно было исполнено в более «попсовом» звучании, для взрослых — с элементами джаза. Такой подход учитывал возрастные особенности восприятия и повышал личную значимость материала.

Педагогические наблюдения и непосредственная апробация показали рост вовлеченности учащихся: дети активнее включались в повторение, проявляли инициативу и охотнее работали в парах и группах. Было зафиксировано снижение страха ошибок и повышение уверенности при использовании новых грамматических конструкций, что стало следствием смещения фокуса внимания с «правильности» на процесс. Таким образом, кейс продемонстрировал, что интеграция AI-сгенерированного музыкального материала оживляет методику Мещеряковой и позволяет устранить проблему однообразия, сохранив ее структурные преимущества [18].

Дискуссия

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что интеграция AI-сгенерированных песен в методику В.Н. Мещеряковой положительно влияет на мотивацию учащихся и эффективность освоения материала. Эти данные согласуются с зарубежными исследованиями, в которых подчеркивается, что эффективность технологий определяется качеством их методической интеграции. Так, Godwin-Jones [9] и Winkler & Söllner [12] отмечали риск снижения вовлеченности при поверхностном использовании цифровых инструментов. Опыт школы Friends показывает, что этот риск может быть преодолен при сохранении структурной основы методики и четкой педагогической цели.

Вместе с тем наблюдается сходство с выводами Bibauw, François и Desmet [6], которые показали, что ценность цифровых инструментов заключается в создании сценариев взаимодействия. В нашем случае AI-песни выполняют именно эту роль, обеспечивая ритм и структуру для коллективных повторений. С другой стороны, исследования Kasneci и соавторов [8] подчеркивают необходимость «human-in-the-loop» проверки и адаптации результатов генеративных систем. В Friends эта задача решается вручную: учитель корректирует текст и темп песен перед их внедрением в урок.

Сравнение с российскими исследованиями также подтверждает полученные результаты. Эпштейн [4], Насибулина [7], Высоцкая [5] и Ерыкина [11] доказали эффективность песенного материала в обучении, однако указывали на проблему однообразия при использовании

неизменного репертуара. Опыт Friends восполняет данный пробел: использование Suno.ai позволило обновить песни, сохранив при этом привычный формат упражнений. Таким образом, наше исследование соединяет две линии — методическую (российскую) и технологическую (зарубежную) [15].

Ограничением проведенной работы является отсутствие формализованной количественной оценки результатов. Выводы сделаны преимущественно на основе педагогических наблюдений и описания практик. Это соответствует формату кейс-стади, но требует в дальнейшем проведения экспериментов с контрольными и экспериментальными группами, применения анкетирования, тестирования и статистического анализа. Еще одним ограничением выступает узкий контекст — кейс был реализован в одной школе, что снижает возможность прямой экстраполяции данных.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование подтвердило, что интеграция AI-сгенерированных песен в методику В.Н. Мещеряковой является эффективным способом обновления традиционного песенного материала и повышения мотивации учащихся. Опыт школы Friends показал, что новые музыкальные треки оживляют процесс обучения, способствуют активному повторению, снижают тревожность и стимулируют инициативу детей. Сравнение с отечественными и зарубежными исследованиями позволило выявить, что данная практика восполняет пробел между богатой российской традицией песенных упражнений и современными исследованиями по применению искусственного интеллекта.

Перспективы дальнейшей работы связаны с расширением эмпирической базы: проведением сравнительных исследований на большем количестве участников, использованием инструментов количественной оценки и выявлением долгосрочного эффекта AI-песен для запоминания и речевого развития. Будущие работы могут включать сравнительные эксперименты (группы с традиционными песнями и группы с AI-сгенерированными треками), а также разработку методических рекомендаций для преподавателей, желающих интегрировать подобные инструменты в свои курсы.

Список использованных источников

1. Chen L., Chen P., Lin Z. Artificial intelligence in education: A review // IEEE access. 2020. T. 8. Pp. 75264–75278.
2. Holmes W., Tuomi I. State of AI in Education: A Review // European Journal of Education. 2022. Vol. 57. №. 4. Pp. 542–558. DOI: 10.1111/ejed.12507.
3. Мещерякова В.Н. Английский язык для детей. Методические материалы. — М.: Айрис-пресс. 2010. 256 с.
4. Эпштейн О.В. Методический потенциал песенного компонента мультипликационных фильмов в обучении английскому языку [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scipress.ru/pedagogy/articles/metodicheskij-potentsial-pesennogo-komponenta-multiplikatsionnykh-filmov-v-obuchenii-anglijskomu-yazyku.html> (дата обращения: 17.09.2025).
5. Высоцкая Е.В. Роль музыки и песен в изучении английского языка // English. 2007. №. 4. С. 10–15.
6. Bibauw S., François T., Desmet P. Discussing with a computer to practice a foreign language: Research synthesis and conceptual framework of dialogue-based CALL // Computer Assisted Language Learning. 2019. Vol. 32. №. 8. Pp. 827–877.
7. Насибулина Т.В., Сеницына М.В. Использование музыки и песен как учебного материала на начальном этапе обучения английскому языку. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://festival.1september.ru/articles/508723/> (дата обращения: 17.09.2025).
8. Kasneci E., Sessler K., Kitchenham B. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education // Learning and Individual Differences. 2023. Vol. 103. Article 102274.
9. Godwin-Jones R. Emerging spaces for language learning: AI bots, ambient intelligence, and the metaverse // Language Learning & Technology. 2023. Vol. 27. №. 2. Pp. 6–27.
10. School for Friends. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://schoolforfriends.ru/> (дата обращения: 17.09.2025).
11. Ерыкина М.А. Методика интеграции аутентичного песенного материала в систему средств обучения иностранному языку (английский язык; неязыковой вуз) // Москва. 2017. С. 17.
12. Winkler R., Söllner M. Unleashing the potential of chatbots in education: A state-of-the-art analysis // Academy of Management Proceedings. 2018. Vol. 2018. №. 1. P. 15903.
13. Suno. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://suno.com/home?ref=toole.ai> (дата обращения: 17.09.2025).
14. Human-in-the-loop — концепция интеграции человека в контур работы искусственного интеллекта, предполагающая участие человека в проверке, корректировке и принятии решений. Определение приведено по

- материалам IBM. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/topics/human-in-the-loop> (дата обращения: 19.09.2025).
15. Мир говорит : метод. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://promo.mirgovorit.ru/method> (дата обращения: 17.09.2025).
16. Воронин В.А. Особенности методики преподавания иностранного языка с использованием песенного материала в контексте современной образовательной парадигмы //Kant. 2020. №. 4 (37). С. 375–379.
17. Заречнева Н.Г., Пилукова А.В. Коммуникативный подход в преподавании иностранных языков //Профессиональное образование в современном мире. 2018. Т. 8. №. 4. С. 2255–2264.
18. Материалы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://disk.yandex.ru/d/RVP6axdMCq63JA> (дата обращения: 17.09.2025).

УДК 004.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ ПЕРЕВОДА РУССКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ

Рыбинская З.В. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: к.т.н., доцент Хлопотов М.В (ИТМО)

e-mail: zltrbn@gmail.com

В статье представлен обзор российских сервисов перевода и адаптации русского жестового языка (РЖЯ), разработанных с применением технологий искусственного интеллекта. Рассмотрены наиболее известные решения: «Словарь русского жестового языка», «Адаптис», чат-бот для глухих и слабослышащих, «Сурдосервер», Сурдо-помощь и проект SignLab. Проведен сравнительный анализ функционала, выявлены их достоинства и ограничения. Особое внимание уделяется проблемам отсутствия двустороннего перевода и открытого кода, что затрудняет дальнейшую разработку. Сформулированы перспективные направления совершенствования адаптивных технологий.

Ключевые слова: искусственный интеллект; жестовый язык; русский жестовый язык; адаптивные технологии; сурдоперевод; слабослышащие; сервисы перевода.

Введение

На сегодняшний день благодаря искусственному интеллекту адаптивные технологии сделали значительный шаг вперед, став доступнее и понятнее как нуждающимся в них людям с ОВЗ, так и людям без ограничений по здоровью. Среди многих ограничений возможностей наиболее широкий спектр решений получили люди с нарушениями слуха, использующие жестовый язык как основной. Большинство разработок, призванных помочь слабослышащим людям, опираются на работу нейросетей при переводе с жестового языка на аудио-оральный и письменный и наоборот: искусственный интеллект помогает решать задачи как распознавания изолированных жестов, преобразовывая информацию в голосовой формат, так и перевода письменной или устной речи на жестовый язык. Данная статья представляет из себя анализ уже выпущенных в общий доступ решений с целью упрощения дальнейшего улучшения качества и актуализации разработки.

Исследование

Прежде всего необходимо уточнить, что полноценное рассмотрение зарубежных сервисов и приложений на момент написания статьи невозможно по следующим причинам: во-первых, отсюда и далее словосочетание «жестовый язык» будет обозначать РЖЯ (русский жестовый язык), использование которого наиболее распространено на территории Российской Федерации, и именно поэтому редко встречающегося в иностранных решениях – например, популярное приложение для перевода американского и бразильского жестовых языков HandTalk [1]; во-вторых, после введения санкций некоторые зарубежные сервисы, в том числе один из самых популярных Spreadthesign [2], покинули российское интернет-пространство, став недоступными для пользователей из России. Именно поэтому в обзор были выбраны российские разработки.

До активной интеграции искусственного интеллекта в сервисы помощи людям с ОВЗ основным цифровым способом помощи нуждающимся людям были сервисы удаленного сурдоперевода, и до завершения разработки полноценных ИИ-сервисов остаются популярными и востребованными, например, сервис SOL [3], предлагающий удаленный перевод РЖЯ, однако обратим внимание на автоматизированный перевод. Были рассмотрены самые известные общедоступные решения для перевода жестового языка и упрощения коммуникации слабослышащих людей:

1. Словарь русского жестового языка [4].
2. «Адаптис» [5].
3. Чат-бот для глухих и слабослышащих [6].
4. Сурдосервер [7].
5. SignLab [8].
6. Сурдо-помощь [9].

Далее рассмотрим каждый сервис отдельно.

Словарь русского жестового языка, онлайн-сервис по переводу вербального языка на жестовый, содержит более 14 тысяч жестов. Словарь был создан в ответ на блокировку зарубежного сервиса Spreadthesign, и является его полным аналогом по функционалу перевода. Пользователи могут ввести слово для перевода и изучить его жест с помощью короткого видео – для некоторых слов предложено несколько вариантов. Основными преимуществами сервиса является наличие в словаре общеупотребимых словосочетаний, жестовый перевод которых отличается от прямого калькирования вербального языка, таких как, например, «книга рецептов» и «книжный шкаф». Также пользователи могут воспользоваться функцией распознавания воспроизведенного ими жеста через камеру их устройства. Однако эта функция сервиса распознает жестовый язык как набор изолированных жестов, что не позволяет использовать её при прямой коммуникации со слабослышащими, но хорошо подойдет для обучения жестовому языку и тренировки правильности воспроизведения. На данный момент Словарь русского жестового языка остается одним из наиболее содержательных по представленному словарному составу.

Другим популярным сервисом, предлагающим помощь слабослышащим, является «Адаптис». Основной функционал заключается в переведенных на РЖЯ подробных видеоинструкций, обучающих или развлекательных видео, помогающих людям с ограничениями слуха адаптироваться в социуме. Перевод осуществляется благодаря анимированному аватару, воспроизводящему жесты. Также сервис предлагает возможность перевода слов на РЖЯ в формате словаря, однако по содержательности словарного состава уступает Словарю русского жестового языка. Другим недостатком становится то, что, несмотря на широкий заявленный функционал, получить перевод произвольной фразы с вербального языка на жестовый невозможно – об этой проблеме уже было упомянуто Батраковой С.В. и Веднеевой М.В. в статье 2023 года «ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЖЕСТОВОГО ПЕРЕВОДА» [10]. За прошедшее после выхода статьи время нехватка реализованного функционала не была восполнена.

Одной из новейших разработок в области адаптивных технологий для слабослышащих людей стал Чат бот, разработанный лабораторией компьютерных технологий перевода русского жестового языка НГТУ совместно с компанией «Адаптис» благодаря федеральной программе «Приоритет-2030». Чат-бот обладает высокой точностью перевода и, аналогично «Адаптису», помогает слабослышащим в адаптации в обществе. Изначально сервис создавался для упрощения слабослышащим абитуриентам ориентации на сайте при подаче документов в университет, и на момент приемной кампании НГТУ 2023 года полноценно функционировал. Однако сейчас чат-бот недоступен на странице, а сроки возобновления его работы так же неизвестны.

Еще один сервис, созданный для помощи слабослышащим, – Сурдосервер. Основными его достоинствами стали доступ к ресурсам как на РЖЯ, так и на других жестовых языках мира, а также возможность углубленного изучения жестового языка вплоть до дактильной азбуки и письменного жестового языка. Среди недостатков Сурдосервера можно выделить небольшой объем словаря в сравнении с другими сервисами и невозможность перевода РЖЯ на вербальный язык.

Крайне перспективным проектом является макет ИИ-сурдопереводчика SignLab. В отличие от рассмотренных ранее решений SignLab не является функционирующим сервисом. На данный момент этот проект представляет из себя детально описанный план по реализации сурдопереводчика на основе искусственного интеллекта. В конечный набор функций должен войти перевод непрерывного жестового языка.

Наиболее широким спектром вспомогательных функций для людей с ограничениями слуха обладает сервис Сурдо-помощь. Это больше, чем просто переводчик: слабослышащие люди могут не только сохранять ключевые фразы для озвучивания при общении со слышащими людьми, но и связываться с профессиональными сурдопереводчиками – ждать ответ не больше 2 минут. Однако функционал распознавания РЖЯ и перевода не полный:

сервис предлагает побуквенный перевод дактильной азбуки на вербальную. Это ограничение существенно сокращает круг потенциальных пользователей, так как для использования этой функции слабослышащий должен знать русский письменный язык.

Таким образом, составим для наглядности таблицу сравнения полноты функционала каждого из рассмотренных сервисов.

Таблица. Сравнение функционала сервисов

Наименование сервиса	Перевод с РЖЯ	Перевод на РЖЯ	Доступность использования заявленного функционала	Наличие open-source code (github)
Словарь русского жестового языка	Нет	Да	Да	Нет
Адаптис	Нет	Да	Нет	Нет
Чат-бот для глухих и слабослышащих	Нет	Да	Нет	Нет
Сурдосервер	Нет	Да	Да	Нет
SignLab	Да	Нет	Нет	Нет
Сурдо-помощь	Нет	Да	Нет	Нет

Так, ни одно из рассмотренных решений не включает в себя полноценный двухсторонний перевод жестового и вербального языка – перевод выполняется односторонне. Также ни один из сервисов не имеет открытого кода или возможности подключения по API, что существенно затрудняет дальнейшую разработку. Другим важным недостатком проанализированных сервисов является недоступность использования заявленного функционала в 4 из 6 случаях.

В результате исследования можно сформулировать основные и наиболее перспективные направления разработки адаптивных сервисов для слабослышащих: совмещение перевода вербального языка и жестового, а также распространение сервиса в более удобном и доступном формате.

Выводы

Русскоязычное интернет-пространство предлагает немалое количество решений, нацеленных на упрощение коммуникации людей с ОВЗ и людей без ограничений, в том числе на основе нейросетей. Основными преимуществами являются высокая точность перевода и адаптированный функционал, однако ни одно из найденных решений не предоставляет свободного распознавания непрерывного жестового языка, одновременно с переводом устной или письменной речи на жестовый язык. Отсутствие такого решения не позволяет раскрыть полный потенциал использования технической возможности искусственного интеллекта в достижении безбарьерной коммуникации, а именно свободное взаимодействие слабослышащих людей с окружающей средой, которое является критически важным моментом в интеграции людей с ОВЗ в социум. Таким образом, несмотря на обилие опубликованных сервисов и приложений, остро стоит проблема нехватки решений с полноценным функционалом, таким как двухсторонний перевод: основной необходимостью является не только адаптация сервиса для слабослышащих людей, но и практическая ценность в использовании.

Список использованных источников

1. HandTalk. Sign language translation platform. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.handtalk.me/en/> (дата обращения: 28.08.2025).
2. Spreadthesign. Международный словарь жестового языка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spreadthesign.com/ru.ru/search/> (дата обращения: 28.08.2025).

3. SOL («СУРДО-ОНЛАЙН»). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sol-gos.ru> (дата обращения: 29.08.2025).
4. Словарь русского жестового языка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spreadthesign.ru> (дата обращения: 29.08.2025).
5. Адаптис. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adaptis.pro/en/> (дата обращения: 28.08.2025).
6. Чат-бот для глухих и слабослышащих. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nstu.ru/science/news_more?idnews=149101 (дата обращения: 28.08.2025).
7. Сурдосервер. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.surdoserver.ru/#!/pages:mobile_surdoserver (дата обращения: 28.08.2025).
8. SignLab. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zuzex.com/ru/projects/sign-language-interpreter> (дата обращения: 28.08.2025).
9. Сурдо-помощь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sensor-tech.ru/surdohelp> (дата обращения: 29.08.2025).
10. Батракова С.В., Веденева М.В. Цифровизация перевода жестового языка // Журнал высоких гуманитарных технологий. 2023. №. 3. С. 96–101.

УДК 62-231.222

ШАГАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ С ВЫСОКИМ ПОДЪЁМОМ ОПОРЫ

Сычева Я.Е. (ученица, МБОУ Гимназия №5, г. Королёв, Московская область)

Научный руководитель: д.т.н. Лебедев В.В. (БФ «Образование+»)

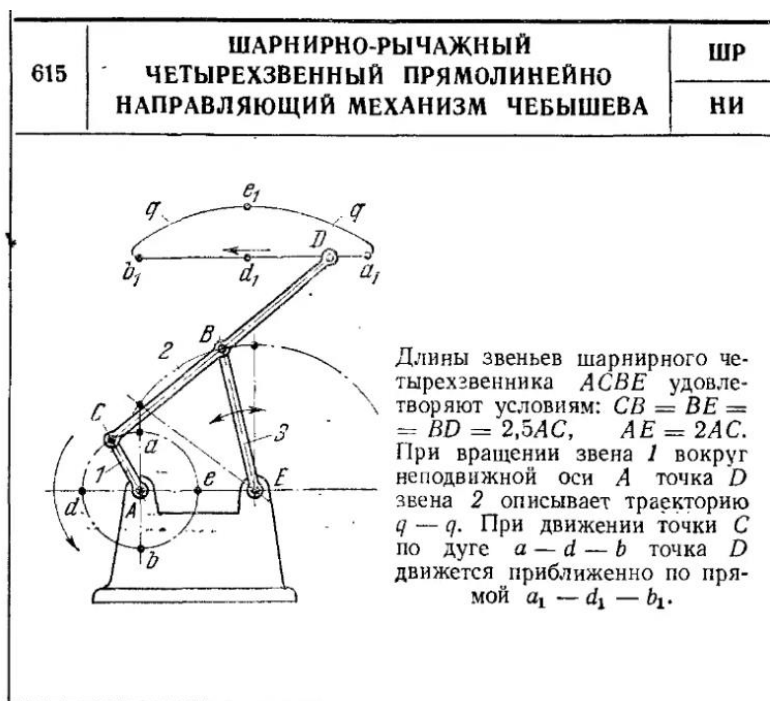
e-mail: yaromelich@mail.ru

Известным классическим шагающим устройством является «Стопоходящая машина» П.Л. Чебышева. В этой машине применены четыре шарнирно-рычажных механизма, формирующих шагающие траектории четырёх опор. Недостатком этого устройства является низкая высота шага, что значительно уменьшает проходимость транспортного средства. Цель работы заключается в увеличении высоты траектории опоры шагающей машины для повышения проходимости транспортного средства. Для достижения цели работы предложено заменить классический шарнирно-рычажный механизм на кривошипно-ползунный механизм.

Ключевые слова: кривошипно-ползунный механизм, кривошип, ползун, рычаг, шарнир, шагающая машина, шагающая траектория, шагающая опора, степень свободы, проходимость машины.

Объектом исследования в работе является новый шагающий механизм. Предлагаемый механизм изучается на предмет повышения проходимости транспортного средства за счёт увеличения высоты подъёма шагающей опоры. Шагающие механизмы не нашли такого широкого применения в технике, как колесные средства. Однако интерес к таким устройствам возрастает в определённых условиях, например, при передвижении по тундре, где хорошо работают точечные опоры без касательных, срезающих напряжений для сохранения растительности.

Классическим аналогом предлагаемого нового механизма является «Шарнирно-рычажный четырёхзвенный прямолинейно направляющий механизм Чебышева» [1]. Схема этого четырёхзвенного механизма, считая корпус, взята из цитированной книги с копией соответствующей страницы и показана на рисунке 1 [1].



314

Рис. 1. Кинематическая схема шагающего механизма П.Л. Чебышева

Шагающий механизм П.Л. Чебышева состоит из четырёх звеньев: корпуса и трёх рычагов. На корпусе в заданных точках шарнирно установлены кривошип и коромысло, к свободным концам которых тоже шарнирно присоединён шатун. Размеры рычагов выбраны

такими, чтобы верхняя точка шатуна двигалась по природной траектории, близкой к траектории движения стопы человека или копыта животного, в которой нижний участок почти не отличается от горизонтального прямолинейного отрезка. Именно поэтому указанный механизм П.Л. Чебышева часто называют прямолинейным направляющим механизмом, или, что то же самое, более кратким термином прямоило. Заслуга П.Л. Чебышева заключается в технической реализации природной траектории движения опоры. Однако для шагающих машин природная траектория часто не приемлема из-за низкой высоты шага. Увидев препятствие, человек или животное поднимет ногу выше, перешагнёт через него. Шагающий механизм при высоком препятствии этого сделать не сможет, машина либо споткнётся, может даже опрокинуться и упасть, как человек, либо упрётся в препятствие и прекратит своё движение до оказания внешней помощи. Таким образом, низкая высота шага стала одним из главных недостатков классического механизма П.Л. Чебышева, затрудняющим его применение в транспортной технике.

На основе указанного шагающего механизма П.Л. Чебышевым была создана «Стопоходящая машина», которая до настоящего времени остаётся актуальной из-за реализации природного принципа шагающего передвижения. Компьютерная реализация этого устройства создана исследовательской группой Н.Н. Андреева в Математическом институте им. В.А. Стеклова Российской академии наук [2]. Общий вид «Стопоходящей машины» П.Л. Чебышева в современной компьютерной реализации показан на рисунке 2 [2].

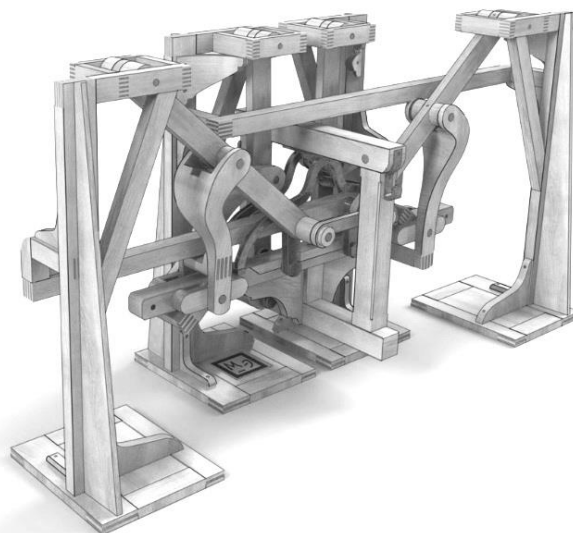


Рис. 2. Компьютерная реализация «Стопоходящей машины П.Л. Чебышева

В «Стопоходящей машине» П.Л. Чебышева применены четыре указанных ранее механизма, которые работают по специальной синхронизации, как четыре копыта коровы или лошади: передняя левая опора движется синхронно и одинаково с задней правой опорой, передняя правая опора движется синхронно и одинаково с задней левой опорой. Созданная машина доказывает возможность применения шагающих механизмов для создания транспортного средства или хотя бы другого шагающего устройства, более сложного по сравнению с единичным шагающим механизмом, но вместе с этим более функционального, то есть приближенного к практическим потребностям техники и обыденной жизни.

Однако оказалось, что разработаны механизмы с другого вида шагающими траекториями опоры, с более высоким шагом. Например, «Кривошипно-ползунный прямолинейно-направляющий механизм» формирует траекторию опоры с намного большей высотой опоры, чем классический шагающий механизм П.Л. Чебышева [3]. Кинематическая схема такого кривошипно-ползунного механизма взята из цитированного источника и без изменения показана на рисунке 3.



Рис. 3. Схема механизма с увеличенной высотой шагающей траектории

В отличие от классического шагающего механизма П.Л. Чебышева кривошипно-ползунный механизм является трёхзвенником, потому что состоит из корпуса и двух рычагов: кривошипа и шатуна. Конструктивным отличием кривошипно-ползунного механизма от шарнирно-рычажного механизма является наличие ползуна. Но с практической точки зрения для создания нового шагающего механизма важно увидеть траекторию рабочей точки D , которая показана на рисунке 3 в правой части схемы. Если оригинальный рисунок из цитированного источника информации повернуть на 90 градусов против часовой стрелки, то форма траектории рабочей точки D будет похожа на форму траектории рабочей точки, обозначенной той же буквой D на рисунке 1, то есть для шарнирно-рычажного четырёхзвенного прямолинейно направляющего механизма Чебышева. Оказалось, что формы траекторий рабочих точек обоих механизмов, похожи друг на друга, однако есть существенное отличие, которое позволяет принципиально изменить характеристики новой шагающей машины. Кривошипно-ползунный механизм, повернутый на рисунке 3 на 90 градусов против часовой стрелки, обладает намного большей высотой шагающей траектории, чем шарнирно-рычажный механизм П.Л. Чебышева, изображённый на рисунке 1. Если в первом механизме (рис. 1) относительная высота шагающей траектории рабочей точки составляет приблизительно 20% от нижнего почти прямолинейного рабочего опорного участка, то во втором механизме (рис. 3) этот показатель равен приблизительно 80%. Кривошипно-ползунный механизм (рис. 3) обеспечивает высоту подъёма опоры шагающей машины приблизительно в четыре раза больше, чем классический шарнирно-рычажный механизм П.Л. Чебышева (рис. 1), применённый в «Стопоходящей машине» (рис. 2). Следовательно, для устранения спотыкания проектируемого нового шагающего механизма и новой шагающей машины есть смысл предложить использовать вместо классического шарнирно-рычажного механизма П.Л. Чебышева, который часто называют лямбдаобразным механизмом из-за сходства его формы с буквой греческого алфавита, кривошипно-ползунный механизм с увеличенной приблизительно в четыре раза высотой шагающей траектории рабочей точки опоры.

При создании шагающего транспортного средства с подобными механизмами появляется существенная техническая трудность. Единичные механизмы, реализующие шагающие траектории, обязательно требуют сместить шагающую траекторию вниз. Действительно, и в шарнирно-рычажном механизме П.Л. Чебышева (рис. 1), и в кривошипно-ползунном

механизме (рис. 3) рабочая траектория расположена выше корпуса и самого механизма. Но опора обязательно должна быть ниже корпуса. Следовательно, для создания шагающей машины необходимо сместить рабочую траекторию из верхней части механизма ниже корпуса. В «Стопоходящей машине» (рис. 2) П.Л. Чебышев сместил шагающую траекторию вниз с помощью двух пар высоких шагающих опор, причём каждая пара диагональных опор обеспечивает диагональную синхронизацию дополнительной жёсткой связью двух механизмов и убирает лишние степени свободы машины, делая шагающее движение устойчивым. Из сказанного следует, что любой шагающий механизм должен рассматриваться в единстве с устройством, обеспечивающим нижнее, ниже корпуса, расположение рабочей опоры и шагающей траектории. Смещение шагающей траектории сверху вниз выполняется различными способами и дополнительными устройствами. Например, конкретной реализацией смещения шагающей траектории сверху вниз является «Механизм шагающей машины», разработанный А.А. Скворцовой [4]. Иллюстрация на рисунке 4 [4] показывает кинематическую схему цитированного «Механизма шагающей машины» А.А. Скворцовой, взятую из описания к указанному патенту, в которой сохранена авторская нумерация деталей. Эта нумерация будет сохранена при описании предлагаемого нового технического решения.

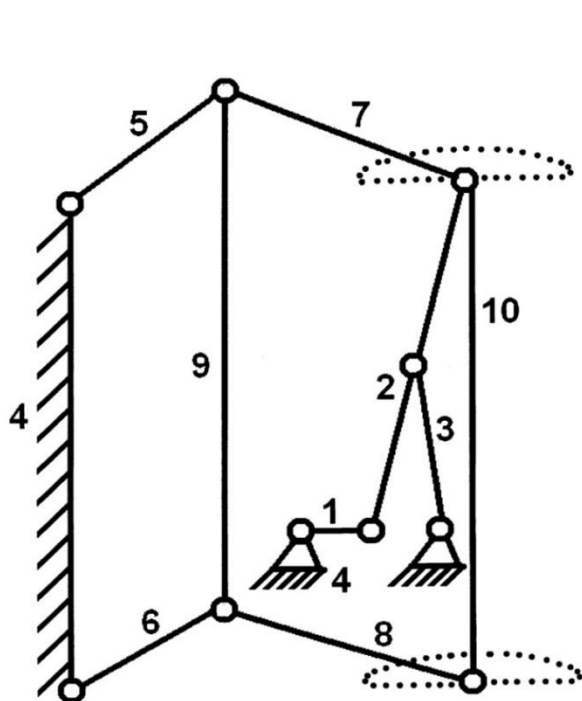


Рис. 4. Кинематическая схема шагающего механизма А.А. Скворцовой

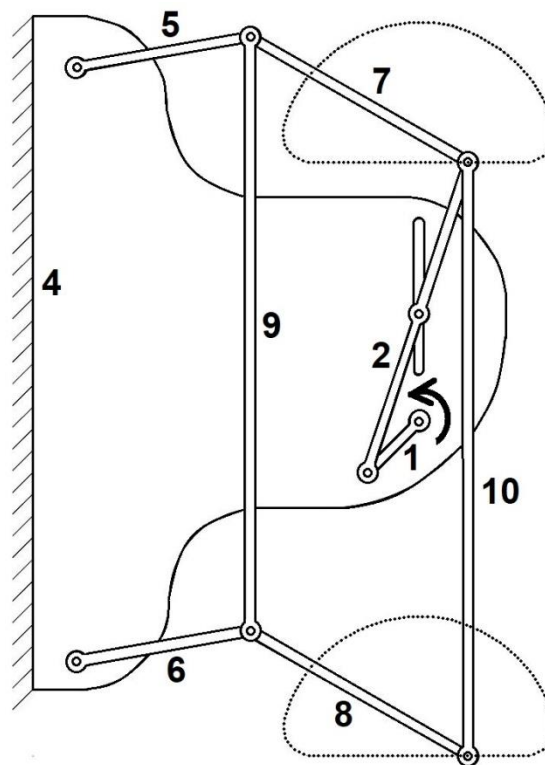


Рис. 5. Кинематическая схема нового шагающего механизма

Механизм А.А. Скворцовой содержит по сути два взаимосвязанных частных механизма. Во-первых, задающий шагающую траекторию лямбдаобразный механизм П.Л. Чебышева. Во-вторых, механизм двойного параллелограмма, в котором шатун 10 связан шарниром с рабочей точкой лямбдаобразного механизма, поэтому все точки шатуна, в том числе самая нижняя двигаются по заданной шагающей траектории. Следовательно, шагающую траекторию можно сместить вниз на любое расстояние, ограниченное только прочностью и устойчивостью конструкции, за счёт увеличения длин шатунов 10 и 9 в механизме двойного параллелограмма.

Недостаток шагающего механизма А.А. Скворцовой сохранился прежним, заключается в малой относительной высоте шага, равной приблизительно 20% от рабочего горизонтального опорного участка рабочей траектории. В результате этого проходимость шагающей машины ограничена приблизительно такой же высотой препятствий.

Цель изобретения заключается в повышении проходимости шагающего механизма путём увеличения относительной высоты шага, приблизительно в четыре раза, за счёт нового технического решения.

Новизна работы обоснована двумя новыми элементами и связями в предлагаемом механизме. Первым новым элементом является новый механизм, задающий шагающую траекторию с увеличенной высотой шага, выполненный по кинематической схеме «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» [3]. Вторым новым элементом является применение новой связи «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» с механизмом двойного параллелограмма, при которой сформированная шагающая траектория с высоким шагом смещается вниз. Ранее, в прототипе, такая связь двух механизмов была обеспечена только для шарнирно-рычажного механизма П.Л. Чебышева. В предлагаемом новом механизме такая связь обеспечивается для кривошипно-ползунного механизма для получения нового результата в форме высокой шагающей траектории. Схема предлагаемого нового шагающего механизма с высоким подъёмом опоры показана на рисунке 5.

На рисунке 5 задающим шагающую траекторию механизмом является «Кривошипно-ползунный прямолинейно-направляющий механизм» [3]. Этот механизм состоит из кривошипа 1, который получает крутящий момент, обозначенный круговой стрелкой, от двигателя. Для определённости показан крутящий момент кривошипа, действующий против часовой стрелки в ведущем шарнире кривошипа, тогда шагающий механизм будет двигаться вправо (рис. 5). Изменение направление крутящего момента, то есть реверсирование двигателя, приводит к обратному движению частей механизма и машины в целом, то есть включается задний ход механизма и машины. Кривошип 1 шарнирно закреплён на корпусе 4, под которым понимается также корпус двигателя, создающего крутящий момент. К другому концу кривошипа 1 с помощью шарнира крепится шатун 2. На противоположном конце шатуна 2 установлен концевой двойной шарнир шатуна для соединения «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» с механизмом двойного параллелограмма. В середине шатуна 2, но не строго по центру, расположен шарнир кинематической пары ползуна. Расположение этого шарнира выполнено по размерам примененного «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» [3]. Кинематическая пара ползуна на рисунке 5 схематично представлена прямолинейной прорезью в корпусе 4, в которую помещён шарнир ползуна шатуна 2. Ведущий шарнир кривошипа, который получает от двигателя крутящий момент, расположен точно на продолжении центральной линии прямолинейной прорези для ползуна в корпусе 4. Длина прямолинейной прорези в корпусе 4 обеспечивает свободное движение шарнира ползуна, на рисунке 5 вверх и вниз, с одновременным поворотом шатуна 2. Рабочей точкой «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» является концевой двойной шарнир шатуна 2, который при вращении кривошипа 1 от крутящего момента двигателя перемещается по шагающей траектории, изображённой пунктирной линией в верхней части схемы.

Шагающая траектория рабочей точки состоит из четырёх характерных участков, как в классическом шагающем механизме П.Л. Чебышева [1]. Первый участок в нижней части шагающей траектории близок к прямолинейному отрезку, является опорным участком. На опорном участке шагающая опора упирается в опорную поверхность и поднимает корпус 4 шагающего механизма над опорной поверхностью. Второй и третий участки являются переходными, имеют формы дуг со сравнительно резкими разворотами шагающей траектории от почти прямолинейного отрезка к большой дуге шагающей траектории. Четвёртый участок является пассивным участком переноса шагающей опоры, имеет вид большой дуги вверху траектории. Особенностью «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» с «Шарнирно-рычажным четырёхзвенным прямолинейно направляющим механизмом Чебышева» является высокий подъём шагающей траектории, до 80% от длины рабочего почти прямолинейного горизонтального участка траектории, по сравнению с 20%. Однако традиционный недостаток шагающей траектории сохранился в виде её верхнего

расположения, над корпусом 4 шагающего механизма. Опорная поверхность находится ниже корпуса 4, поэтому шагающую траекторию рабочей точки шатуна 2 надо сместить вниз, что выполнено механизмом двойного параллелограмма, как в «Механизме шагающей машины» А.А. Скворцовой [4]. Таким образом, «Кривошипно-ползунный прямолинейно-направляющий механизм», имеющий высокую шагающую траекторию, оказался соединённым своими шатунами 7 и 10 двойным шарниром с верхней рабочей точкой шатуна 2. Двойной шарнир обеспечивает независимые друг от друга повороты шатунов 2, 7, 10. Предложенная кинематическая схема соответствует плоскому рычажно-шарнирному механизму с ползуном, работоспособность которого можно проверить теоретически по формуле П.Л. Чебышева для расчёта количества степеней свободы:

$$St = 3 \cdot Rh - 2 \cdot Sh - 1 \cdot Ph.$$

В этой формуле и в предлагаемом механизме введены следующие обозначения:

St – количество степеней свободы плоского рычажно-шарнирно-ползунного механизма;

$Rh = 8$ – количество рычагов в механизме, не считая корпуса;

$Sh = 12$ – количество шарниров в механизме с учётом их кратности;

$Ph = 1$ – количество ползунов в механизме.

Вычисляем количество степеней свободы предлагаемого нового механизма:

$$St = 3 \cdot Rh - 2 \cdot Sh - 1 \cdot Ph = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 11 - 1 \cdot 1 = 24 - 22 - 1 = 1.$$

Предложенный механизм имеет одну степень свободы. Это означает, что положение всех деталей в предложенном механизме однозначно определяется одной характеристикой, например, углом поворота кривошипа, как это часто принято при проектировании механизмов и машин. Следовательно, теоретически доказана работоспособность нового механизма.

Механизм двойного параллелограмма необходим для смещения шагающей траектории рабочей точки шатуна 2 ниже корпуса 4. Такое смещение достигается выбором необходимой длины пары одинаковых шатунов 9 и 10. На рисунке 5 внизу показана смещённая сверху вниз шагающая траектория. Однако в предложенном механизме все точки шатуна 10 двигаются по такой шагающей траектории. Это означает, что шатун 10 можно продлить вниз на любую требуемую длину, но не изменять при этом расстояния между его шарнирами. Таким образом, техническая задача смещения шагающей траектории рабочей точки ниже корпуса 4 решена тем же способом, что и в «Механизме шагающей машины» А.А. Скворцовой, но существенным отличием и новизной стало применение нового задающего шагающую траекторию механизма для получения нового эффекта в виде увеличения высоты рабочей шагающей траектории и для повышения проходимости шагающего транспорта. Цель работы достигнута.

Техническая реализуемость предлагаемого устройства доказана изготовлением действующих моделей предложенного шагающего механизма с высоким подъёмом опоры и сравнением их с разработанными ранее устройствами.

Фотография первой действующей модели отдельного, единичного механизма показана на рисунке 6.

Первая модель представляет реализацию предлагаемого нового шагающего механизма с высоким подъёмом опоры. Первая модель изготовлена из фанеры толщиной 4 мм, шарнирные соединения сделаны из винтов и гаек. Расположение рычагов на фотографии (рис. 6) приблизительно такое же, как на кинематической схеме (рис. 5). Для доказательства возможности удлинения шатуна 10 в механизме двойного параллелограмма к этому рычагу прикреплена шагающая опора в форме ноги. Это доказывает, что шатун 10 двойного параллелограмма может быть выполнен произвольной формы с любыми размерами, допустимыми прочностью и устойчивостью конструкции. Значит, шагающую траекторию можно произвольно смещать, в том числе ниже корпуса 4. Изготовленная модель имеет не только исследовательское, проверочное значение, но дополнительно является учебным пособием для изучения теории механизмов и деталей машин.

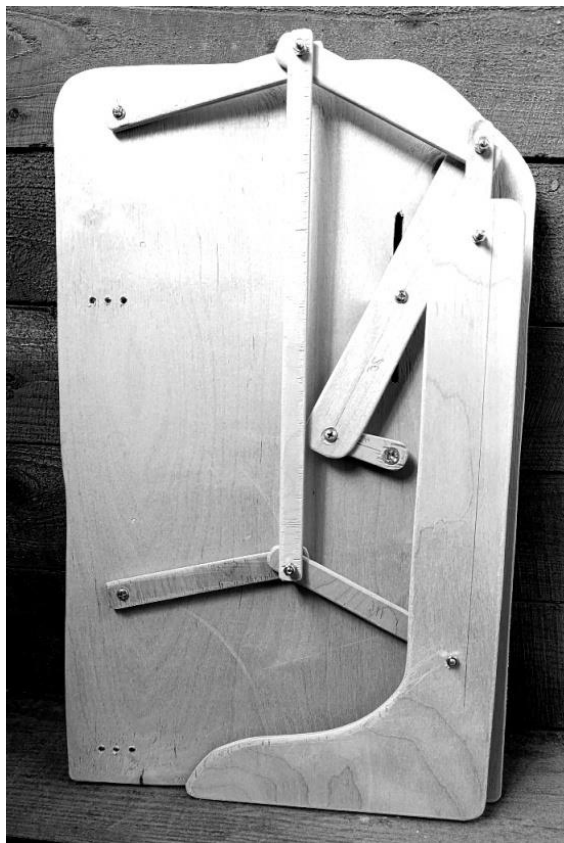


Рис. 6. Действующая модель нового шагающего механизма

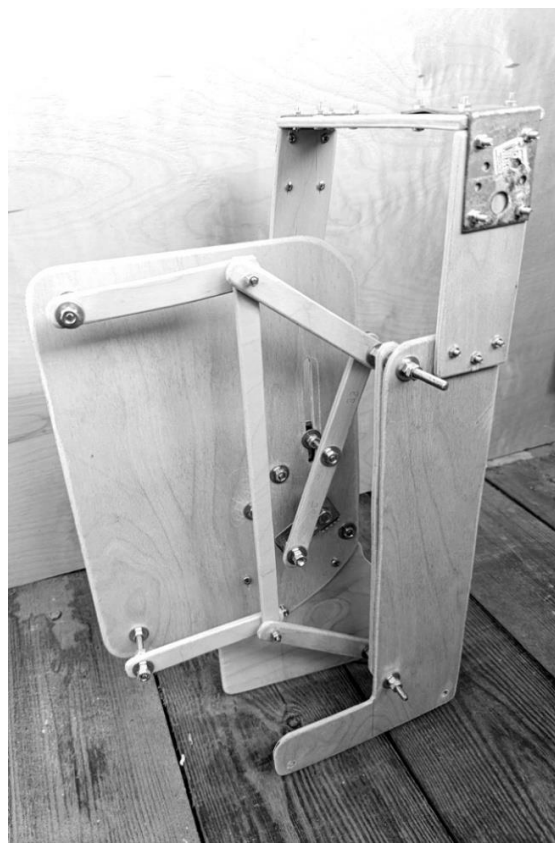


Рис. 7. Применение нового механизма в шагающем устройстве

Фотография второй действующей модели предложенного нового шагающего механизма с высоким подъёмом опоры показана на рисунке 7. На этой фотографии показано шагающее устройство, потому что шатун 10 механизма двойного параллелограмма выполнен в виде не пластины, а устойчивой конструкции типа скамейки. Вторая действующая модель доказывает возможность практического применения нового механизма с высоким подъёмом опоры для создания шагающих транспортных средств.

Наконец, на третьей паре фотографий, показанной на рисунке 8, представлены действующие модели двух механизмов. Слева показана учебная действующая модель традиционного «Шарнирно-рычажного четырёхзвенного прямолинейного направляющего механизма Чебышева» [1]. Этот механизм часто называют лямбдаобразным механизмом П.Л. Чебышева из-за расположения рычагов в форме буквы греческого алфавита. Эта модель показывает природную шагающую траекторию стопы человека или копыта животного с относительно низкой высотой шага, приблизительно 20% от рабочего почти прямолинейного нижнего опорного участка траектории. Справа показана учебная действующая модель «Кривошипно-ползунного прямолинейно-направляющего механизма» [3]. Эта модель имеет высокий шаг, увеличенный приблизительно в четыре раза по сравнению с лямбдаобразным механизмом П.Л. Чебышева. Нижний рабочий участок траектории является почти прямолинейным отрезком, но на модели он получается скруглённым из-за технологических ошибок изготовления деталей из фанеры. Сравнение двух действующих моделей доказывает достижение цели работы, то есть предложения и практической реализации нового шагающего механизма с высоким подъёмом опоры для повышения проходимости шагающего транспортного средства.



Рис. 8. Иллюстрация эффекта увеличения высоты шага в новом механизме

Таким образом, цель работы достигнута за счёт отказа от традиционного лямбдаобразного шагающего механизма П.Л. Чебышева и применения в новом устройстве кривошипно-ползунного механизма с высокой шагающей траекторией.

Работа выполнена в школьном кружке «Юный физик – умелые руки» при поддержке Благотворительного фонда «Образование+» при МБОУ «Гимназия №5» города Королёва (мкр. Юбилейный) Московской области.

Список использованных источников

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. В 7 томах. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. Издание второе, переработанное. Том.1. Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. 1979. 496 с.
2. Андреев Н.Н. и др. Математические этюды. Этюды. Стопоходящая машина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etudes.ru/etudes/tchebyshev-plantigrade-machine/> (дата обращения: 23.08.2025).
3. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. В 7 томах. Справочное пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. Издание второе, переработанное. Том.2. Кулисно-рычажные и кривошипно-ползунные механизмы. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 560 с.
4. Патент на изобретение RU 2712370 C2, рег. 28.01.2020. Российская Федерация. СПК В62D 57/02 (2019.05) Механизм шагающей машины / Скворцова А.А. – автор, заявитель, патентообладатель, патент прекратил действие. - Заявка на патент на изобретение 2017138076, заявл., приоритет 01.11.2017. - Публ. 28.01.2020, Бюлл. №4.- Дата публ. заявки 06.05.2019, Бюлл. №13.

УДК 378.126:004.773.6

АКАДЕМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ: ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ И ЭТИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ

Якименко Д.Д. (студент, ИТМО)

Научный руководитель: к.э.н., доцент Киселёва Е.Г. (СПбПУ Петра Великого)

e-mail: yakimenko.dd@mail.ru

Алгоритмы социальных сетей, ориентированные на вовлечение и виральность, формируют новые правила коммуникации. Преподаватель университета оказывается перед дилеммой: использовать язык академической науки или язык успешного цифрового продвижения? Данное исследование анализирует лингвистические и этические аспекты цифровой самопрезентации преподавателя, систематизирует типологию моделей цифрового поведения и лингвистические стратегии для каждой из них и предлагает рекомендации по продвижению личного бренда преподавателя университета в цифровой медиасреде.

Ключевые слова: самопрезентация преподавателя, цифровые платформы, академическая этика, личный бренд, этические риски, лингвистические стратегии, речевой конструкт.

Алгоритмизация социальных сетей, ориентированных на максимизацию вовлеченности пользователей, формирует новые коммуникативные реалии для академического сообщества. Преподаватель университета оказывается в ситуации двойного давления: с одной стороны, необходимо соответствовать традиционным нормам академического дискурса, с другой — адаптироваться к требованиям цифровых платформ, где успех контента определяется его виральным потенциалом. Это противоречие порождает комплекс этических и лингвистических вызовов, связанных с поиском баланса между научной строгостью и цифровой эффективностью.

Для современного преподавателя активность в социальных сетях становится не просто личным выбором, а профессиональной необходимостью. Эффективная цифровая самопрезентация позволяет устанавливать прямой контакт с аудиторией, привлекать абитуриентов, популяризировать научные знания и укреплять академическую репутацию. Успешный, виральный контент обеспечивает широкое распространение идей преподавателя, повышает его узнаваемость и расширяет влияние за пределы академического сообщества. Для вузов преподаватели с развитым личным брендом становятся важным ресурсом усиления позиций в образовательном пространстве, инструментом привлечения талантливых студентов и повышения медийности университета.

Целью исследования является выявление и анализ лингвистических стратегий цифровой самопрезентации преподавателей высшей школы в контексте этических ограничений алгоритмической эпохи и разработка практических рекомендаций для академического сообщества.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать типологию моделей цифровой самопрезентации преподавателей вузов.
2. Определить перечень принципов допустимого поведения преподавателей вуза при формировании личного бренда.
3. Определить границы допустимого поведения преподавателя вуза при формировании личного бренда.
4. Разработать рекомендации по минимизации рисков и легитимацию цифровой активности преподавателя вуза.

Теоретическую основу исследования составляют три ключевых блока: академическая этика, лингвистика цифровой коммуникации и теория личного бренда.

Академическая этика устанавливает нормативные рамки профессионального поведения, особо значимые в условиях цифровизации. Она регламентирует вопросы научной добросовестности, корректного цитирования, прозрачности конфликта интересов и ответственности перед академическим сообществом. В цифровой среде эти принципы

сталкиваются с новыми вызовами, требующими переосмысления традиционных норм в контексте алгоритмической платформизации коммуникации.

Лингвистический аспект исследования опирается на анализ дискурсивных практик цифровой среды. Особое внимание уделяется трансформации академического дискурса под влиянием требований платформенных алгоритмов, ориентированных на виральность и вовлеченность. Исследуются специфические лингвистические стратегии, включая упрощение научного языка, использование эмоциональных маркеров, риторических приемов и нарративных моделей, адаптированных под цифровые форматы.

Центральное место занимает концепция личного бренда преподавателя, определяемая как совокупность уникальных характеристик, ценностей, профессиональных качеств и репутации, формирующих его образ в глазах целевой аудитории [1]. В отличие от имиджа, личный бренд представляет собой целостную систему, отражающую экспертизу, подход к обучению и стиль взаимодействия с аудиторией, включая такие элементы как профессиональные ценности, уникальное позиционирование и коммуникационный контент [2]. Формирование личного бренда становится конкурентным преимуществом, повышающим доверие студентов и укрепляющим экспертную репутацию, а для вузов представляет инструмент привлечения абитуриентов и усиления медийного присутствия.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач был использован комплекс методов, включающий дискурс-анализ лингвистических стратегий в социальных сетях, анализ нормативных документов и анкетирование студентов (n=117). Сочетание методов обеспечило триангуляцию данных: выявление фактических речевых практик преподавателей, оценку их восприятия целевой аудиторией и определение нормативных противоречий. Синтез полученных результатов позволил разработать типологию этических лингвистических стратегий цифровой самопрезентации.

Результаты и их обсуждение

Проведённое исследование выявило некоторые противоречия между традиционными нормами академической коммуникации и требованиями цифровых платформ. Анализ практик цифровой самопрезентации преподавателей позволил идентифицировать четыре доминирующие модели поведения, каждая из которых демонстрирует различную степень адаптации к алгоритмическим требованиям продвижения на цифровых платформах и соответствия академической этике. Представленная ниже типология (табл. 1) систематизирует выявленные модели по ключевым параметрам: лингвистическим стратегиям, этическим рискам и коммуникативной эффективности.

Анализ выявленных моделей цифровой самопрезентации демонстрирует фундаментальный конфликт между алгоритмическими требованиями цифровых платформ и нормами академической коммуникации. Наиболее этически и коммуникативно сбалансированной оказывается модель «Популяризатор науки», которая сочетает адаптацию к цифровому формату с сохранением научной строгости через механизмы терминологической адаптации, нарративизации и диалогизации. Модель «Академический эксперт», сохраняя терминологическую точность и научную ригорозность (интеллектуальная честность, методологическая строгость, валидность), оказывается наименее конкурентной в условиях алгоритмического отбора контента, что ограничивает её просветительский потенциал. Напротив, модели «преподаватель-инфлюенсер» и «скрытый коммерциализатор академической деятельности», хотя и достигают высокой видимости за счёт использования эмоциональных маркеров, кликбейтных стратегий и манипулятивных тактик, несут системные риски для академической репутации как преподавателя, так и вуза, нарушая принципы научной добросовестности и корпоративной этики. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки дифференцированных этических рекомендаций, учитывающих специфику каждой модели цифровой самопрезентации.

Таблица 1. Типология моделей цифровой самопрезентации преподавателей вузов

Модель	Лингвистические стратегии	Риски коммуникации	Возможности коммуникации
Академический эксперт	Академический дискурс, терминологическая точность, сложные синтаксические конструкции	Низкая вовлечённость, оторванность от аудитории, ограниченный охват	Высокая научная достоверность, авторитет в академическом сообществе
Популяризатор науки	Адаптация терминов, метафоры, нарративизация, диалогизация	Упрощение содержания, риск искажения смыслов, профессиональное выгорание	Высокая вовлечённость при прямом взаимодействии с аудиторией
Преподаватель-инфлюенсер	Эмоциональные маркеры, кликбейтные заголовки, визуальный акцент	Подмена авторитета популярностью, конфликт интересов, высокий репутационный риск	Максимальный охват, монетизация экспертизы, построение личного бренда
Скрытый коммерциализатор академического статуса	Двусмысленные формулировки, скрытое продвижение, манипулятивные тактики	Нарушение академической этики, юридические риски	Краткосрочная финансовая выгода с перспективой репутационных потерь

Источник: составлено автором на основании [3–5]

Перед разработкой рекомендаций было необходимо определить перечень принципов допустимого поведения преподавателя [8, 9]. При анализе литературных источников было определено, что в основе этичной цифровой самопрезентации преподавателя должны лежать три ключевых принципа: профессиональные (академическая компетентность и научная добросовестность – сохранение научной строгости, корректное цитирование, прозрачность конфликта интересов), корпоративные (лояльность университету – согласованное использование аффилиации, защита интеллектуальной собственности, сдержанность в публичной критике) и педагогические (недопущение злоупотребления положением – отказ от принуждения студентов к взаимодействию в соцсетях, исключение скрытой рекламы, оценка на основе академических заслуг). Эти принципы обеспечивают баланс между цифровой видимостью и соблюдением академических норм. Для более подробного представления смыслового содержания каждого принципа авторами предлагается схема, представленная на рисунке.

На схеме видно, принципы охватывают все ключевые аспекты деятельности преподавателя – от научной добросовестности и лояльности университету до обеспечения академической справедливости для студентов.

Вывявленные принципы задают нормативно-ценностные рамки цифровой коммуникации, однако их практическая реализация в эпоху алгоритмов требует конкретных лингвистических решений. Лингвистическая стратегия в данном контексте – это системный выбор языковых средств и коммуникативных тактик, направленный на достижение конкретных целей цифровой самопрезентации (популяризация науки, укрепление авторитета, расширение аудитории) при соблюдении этических ограничений. Алгоритмическая среда, где видимость контента определяется его вовлекающим потенциалом, делает такой выбор не просто вопросом стиля, а ключевым профессиональным компетенцией современного преподавателя.

Для каждой из ранее описанных моделей поведения характерна уникальная лингвистическая стратегия, позволяющая адаптировать научное сообщение к требованиям цифровых платформ без потери академической идентичности. В таблицах 2 и 3 систематизированы эти стратегии, демонстрируя, как различные подходы к языковому воплощению идей соотносятся с этическими рисками и коммуникативной эффективностью. Такой анализ позволяет перейти от абстрактных принципов к практическим инструментам, помогающим преподавателям осознанно выстраивать свою цифровую коммуникацию.

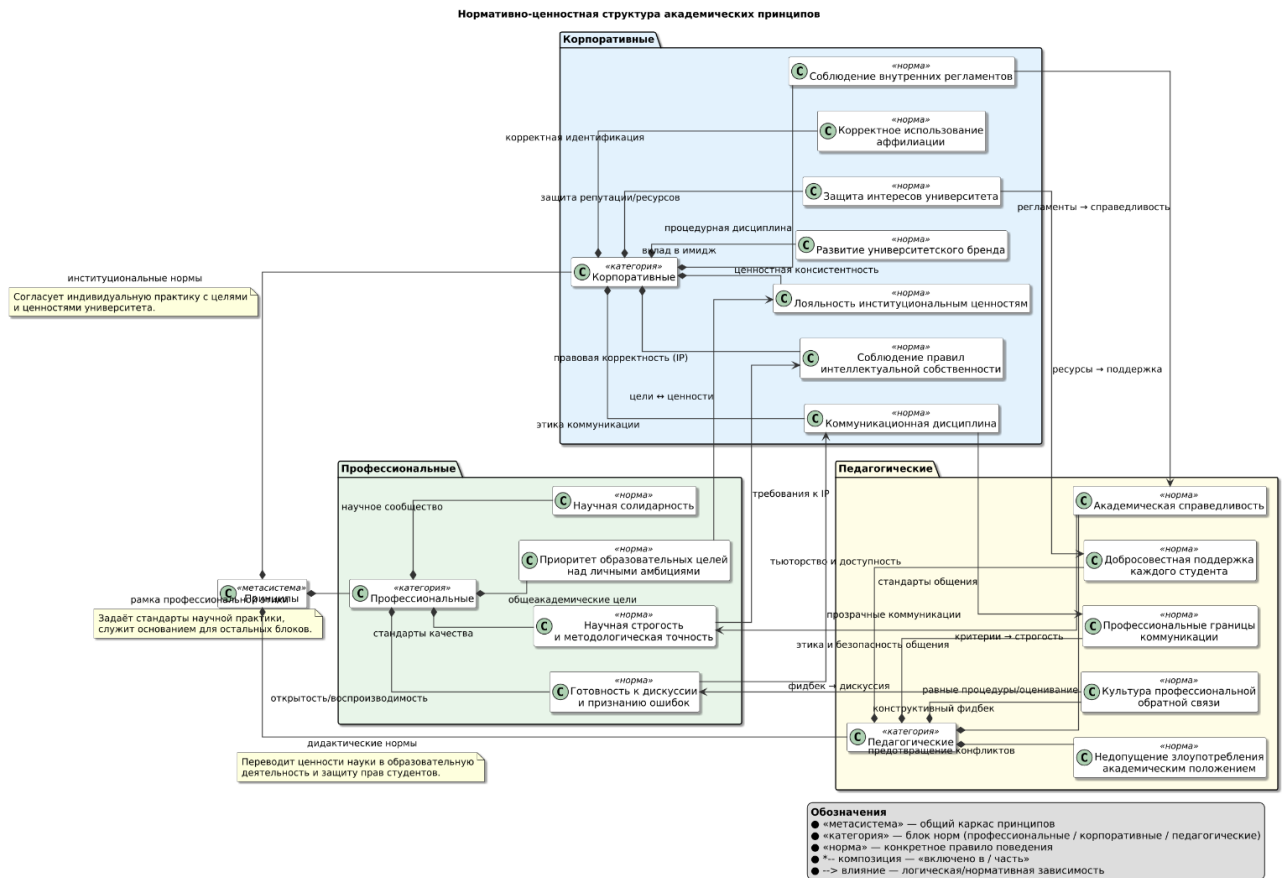


Рисунок. Принципы допустимого поведения преподавателя при формировании личного бренда (составлено авторами на основании [6-7])

Таблица 2. Лингвистические стратегии для каждой модели поведения преподавателя при формировании личного бренда (характеристики)

Модель	Цель	Характеристика
Академический эксперт	Подчеркнуть глубину знаний, научную строгость и авторитет	Язык сухой, сложный, информационно насыщенный. Он отстраивает случайную аудиторию, но вызывает огромное доверие у подготовленной аудитории (коллег, аспирантов, мотивированных студентов)
Популяризатор науки	Сделать сложное понятным и интересным, не теряя научной точности	Язык живой, образный, вовлекающий. Сохраняет ядро научности, но «упаковывает» его в доступную форму. Идеален для широкой аудитории в соцсетях
Преподаватель-инфлюенсер	Привлечь максимальное внимание, вызвать сильную реакцию (удивление, согласие, спор) и удержать аудиторию	Язык эпатажный, эмоциональный, максимально упрощенный. Часто жертвует точностью ради виральности и вовлечения
Скрытый коммерциализатор академического статуса	Скрыто продвинуть платные услуги или свой коммерческий проект, используя академический статус как прикрытие	Язык манипулятивный, непрозрачный, с двойным дном. Создает впечатление бесплатной помощи или экспертного мнения, при этом ведя к платному продукту

Таблица 3. Лингвистические стратегии для каждой модели поведения преподавателя при формировании личного бренда (описание)

Модель	Лингвистическая стратегия	Речевая конструкция
Академический эксперт	Использование точной терминологии	«гетероскедастичность», «дисконтированный денежный поток», «синергетический эффект»
	Сложные синтаксические конструкции	«Рассматривая данную проблему, следует, очевидно, учитывать ряд сопутствующих факторов, главным из которых является...»
	Риторика обоснования и доказательности	«как свидетельствуют данные», «в соответствии с теорией», «проведенный анализ позволяет заключить»
	Деперсонализация высказывания	«Анализ позволяет утверждать», «Исследования показывают»
	Ссылки на авторитетные источники	«Вслед за П. Бурдые, мы можем говорить о...», «Как отмечал в своей работе J.K. Galbraith...»
Популяризатор науки	Адаптация терминов	«Ликвидность – это как возможность быстро продать билет на концерт популярного артиста. Высоколиквидный актив – тот самый билет на Taylor Swift, низколиквидный – ваш старый диван»
	Прием нарративизации	«Представьте себе компанию X... Она столкнулась с проблемой... И вот как она ее решила, используя теорию игр»
	Диалогизация	«А вы как думаете, почему это произошло?», «Улавливаете мысль?»
	Использование метафор и аналогий	«Блокчейн – это цифровой реестр, который похож на общую тетрадь у всего класса, где все записывают операции, и стереть уже ничего нельзя»
	Контролируемое использование эмоциональных маркеров	«И вот что удивительно!», «Здорово, правда?»
Преподаватель-инфлюенсер	Кликбейтные заголовки и вопросы	«3 ошибки, которые банкротят любой стартап», «Вы никогда не используете Excel на полную силу, если не знаете этот прием», «Эти данные шокируют финансистов»
	Гиперболизация и категоричность, использование превосходных степеней и абсолютных утверждений	«Это самый главный навык финансиста», «Только так и никак иначе!»
	Использование сленга и разговорной лексики, внедрение мемов, актуальных выражений	«Это просто космос!», «Когда наконец-то понял дебет с кредитом...»
	Провокационные вопросы и утверждения, сознательный вызов на спор для повышения вовлеченности	«А я считаю, что МВА – это выброшенные деньги. Готов поспорить?»
	Прямые призывы к действию	«Ставь лайк, если согласен!», «Подпишись на канал, чтобы не пропустить разбор», «Напиши в комментариях свой вариант»

Продолжение таблицы 3

Модель	Лингвистическая стратегия	Речевая конструкция
Скрытый коммерциализатор академического статуса	Двусмысленные формулировки, намеренная нечеткость	«Есть эффективные методики, которым не учат в университетах...», «Я помогаю своим студентам достигать результатов».
	Создание искусственного дефицита и намеки	«Расскажу об этом подробнее на своем закрытом интенсиве», «Есть несколько мест на личную консультацию»
	Скрытое противопоставление, принижение «стандартных» знаний и намеки на свой уникальный продукт	«В вузах вам дадут сухую теорию, а я научу, как это работает в реальности»
	Манипуляция статусом, использование формулировок, которые апеллируют к доверию к вузу	«Как профессор ведущего университета, я разработал свой курс...»
	Использование «мы» для сокрытия личного интереса	«Давайте вместе разберемся», что на самом деле означает «Купите мой курс, и я вам все разберу»

На основании анализа лингвистических стратегий можно сделать вывод, что каждая модель поведения преподавателя в цифровой среде использует уникальный языковой инструментарий для достижения своих специфических целей – от построения авторитета и вовлечения широкой аудитории до манипулятивного продвижения платных услуг. Модель «академический эксперт» оперирует сложной терминологией и строгими синтаксическими конструкциями, обеспечивая высокий уровень доверия внутри научного сообщества, но ограничивая вовлечённость широкой аудитории. «Популяризатор науки» использует адаптацию терминов, метафоры и нарративизацию, что позволяет расширять охват без потери научной точности и укреплять образовательную миссию. «Преподаватель-инфлюенсер» делает акцент на эмоциональных маркерах, кликбейте и разговорной лексике, достигая максимальной виральности при риске подмены авторитета популярностью. Наиболее спорной является модель «скрытого коммерциализатора», где манипулятивные и двусмысленные формулировки размывают академическую этику и подрывают доверие к вузу. В целом лингвистические стратегии демонстрируют, что успешная цифровая самопрезентация требует баланса между доступностью, научной строгостью и этической прозрачностью.

По результатам анализ таблицы 2 были сформированы рекомендации, направленные на минимизацию рисков и легитимацию цифровой активности преподавателя:

1. Для обеспечения профессиональных границ: при популяризации науки в цифровой среде обязательно использовать пометки «мнение автора» и «упрощенное объяснение», а также предоставлять ссылки на оригинальные исследования для сохранения научной строгости и методологической точности.
2. Для соблюдения корпоративных границ: перед участием в медиапроектах и публичными выступлениями необходимо согласовывать свою позицию с пресс-службой или руководством вуза, а в цифровых профилях всегда указывать аффилиацию для легитимного использования институционального бренда.
3. Для защиты педагогических границ: категорически исключить любое принуждение студентов к взаимодействию в личных социальных сетях (лайки, подписки) и отказаться от использования образовательного процесса для скрытой или прямой рекламы платных курсов и услуг.
4. Для работы в «дискуссионной» зоне: при коммерциализации экспертного статуса (ведение платных курсов) обеспечить его четкое отделение от основной деятельности в вузе через прозрачное декларирование и официальное согласование, чтобы избежать конфликта интересов.

5. Для администрации вузов: на основе данной матрицы разработать и внедрить внутренние цифровые регламенты, четко разграничивающие рекомендуемые, запрещенные и дискуссионные практики публичной самопрезентации преподавателей для минимизации репутационных рисков.

Выводы и заключение

Проведённое исследование показало, что цифровая самопрезентация преподавателя вуза в условиях алгоритмической среды является сложным балансом между сохранением академической идентичности и необходимостью адаптации к правилам продвижения контента на цифровых платформах. Типология моделей позволила признать наиболее продуктивной модель «популяризатора науки», которая сочетает доступность и научную строгость. Результаты подтверждают, что ключевыми принципами этичной самопрезентации выступают академическая добросовестность, интеллектуальная честность, педагогическая ответственность. Анализ лингвистических стратегий четверых моделей цифровой самопрезентации преподавателя показал, что каждая модель опирается на специфический языковой инструментарий, определяющий её эффективность и этические риски. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением долгосрочного влияния алгоритмов цифровых платформ на трансформацию академического дискурса и формирование новых норм цифровой коммуникации.

Список использованных источников

1. Якименко Д.Д. Личный бренд преподавателя: синергия маркетинга, менеджмента и искусственного интеллекта // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: Сборник трудов Всероссийской научно-практической и учебно-методической конференции, Санкт-Петербург, 13–16 мая 2025 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – (в печати).
2. Киселева Е.Г., Якименко Д.Д. Личный бренд преподавателя как вербально-визуальная конструкция в корпоративной среде и медиaprостранстве // Медиалингвистика: Материалы IX международной научной конференции, Санкт-Петербург, 25–28 июня 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО "Медиапайр". 2025. С. 267–271.
3. Большинство педагогов пользуются соцсетями в профессиональных целях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/education/523967-bol-sinstvo-pedagogov-pol-zuutsa-socsetami-v-professional-nyh-celah> (дата обращения: 08.09.2025).
4. Как писать и что снимать репетитору, чтобы продавать в соцсетях? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/1228681-kak-pisat-i-chno-snimat-repetitoru-chnoby-prodavat-v-socsetyah> (дата обращения: 08.09.2025).
5. Корчагова Л.А. Анализ продвижения вузов в социальных сетях // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2019. №. 1. С. 31–43. DOI: 10.28995/2073-6304-2019-1-31-43.
6. O'Sullivan H. et al. Contemporary branding strategies for higher education // Encyclopedia. 2024. Т. 4. №. 3. Pp. 1292–1311.
7. Shakirova D. Improving education service by creating a strong brand equity of hei // Iqtisodiyot va ta'lim. 2022. Т. 23. №. 1. С. 98–105.
8. Скафа Е.И., Борисова А.А. Ведущие принципы формирования методической компетентности будущих преподавателей высшей школы // Дидактика математики: проблемы и исследования. 2021. №. 54. С. 48–56.
9. Силуохин Д.Г., Капустина Л.В. Технология создания интерактивного персонального бренда преподавателя вуза // Концепт. 2025. №. 1. С. 49–61.

Оглавление

Актуальные вопросы управления интеллектуальной собственностью и трансфера технологий	6
Бутенко С.Н. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ЗАЛОГУ ОИС В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ И В ГОССЕКТОРЕ	6
Екимовская А.А. МОТИВАЦИЯ ПАТЕНТОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ШКОЛЬНОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КРУЖКЕ.....	10
Кудрявцев А.С. РАЗРАБОТКА ПОНЯТИЯ «НЕСЫРЬЕВОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА»	21
Мельников Ф.М. ПОДХОДЫ К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ ПРИ ЛИЦЕНЗИРОВАНИИ КАВЕР-ВЕРСИЙ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ	24
Митягина М.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАТЕНТНОЙ СИТУАЦИИ ДЛЯ ИНЖИНИРИНГА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	30
Сенникова А.В. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ: ОТ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ К БИЗНЕСУ	39
Инфохимия: междисциплинарный подход к фундаментальным и практико- ориентированным исследованиям	42
Глазкова Д.А., Смирнов Е.А. МОДИФИКАЦИЯ САМОСБОРОК ОКСИДА ГРАФЕНА (GO) И ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА ГРАФЕНА (RGO) И ПОДБОР ЛУЧШЕГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	42
Дарюхина В.А., Гудзеров Л.И., Сафронова Т.М. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА КОРРОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ МАГНИЯ	46
Джанаев И. В., Уаман И., Масалович М.С. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СЕНСОРА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ИГРИСТЫХ ВИН С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	49
Максимов И.А., Гончаров В.В. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ	51
Искусственный интеллект в задачах градостроительства и урбанистики	55
Цветкова А.С. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 1-ГО ПОЯСА АГЛОМЕРАЦИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА	55

Кутковой В.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПОЛНЕННОСТИ МУСОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ.....	61
Комплексные исследования в современной науке.....	66
Данилина А.В. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РОССИИ.....	66
Данилов Д.С., Цибикин А.В., Папе А.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ ИТ-СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ VDI И VGPU НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ ОБОРУДОВАНИИ	77
Екимовская А.А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И МАССОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАНЁВРА ГОМАНА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ЗА СЧЁТ ЭНЕРГИИ ВРАЩЕНИЯ	86
Конорева М.М. НОЖНИЧНЫЙ ПОДЪЁМНИК С МЕХАНИЗМОМ ЛИПКИНА	103
Мерзликин Т.А. УЧЕБНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЛИПСА	112
Междисциплинарные исследования: наука и технологии для человека	123
Бикмулина Т.Н. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УНИВЕРСИТЕТАХ.....	123
Кравченко Н.А. ВИДЕТЬ – ЗНАЧИТ УПРАВЛЯТЬ: ДИАГРАММЫ КАК ИНСТРУМЕНТ БИОПОЛИТИКИ.....	127
Романовская В.А. КОММУНИКАЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ HR-БРЕНДИНГА КАК ИНСТРУМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КАДРОВ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ КОМПАНИИ.....	130
Шадрин А.В. КОГНИТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ВОЗРАСТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ДИЗАЙН ИНТЕРФЕЙСОВ	133
Шемелева Е.С. ИНТЕРФЕЙСЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ВЕБ-СИСТЕМ: ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ АСПЕКТОВ И КЕЙС ОНЛАЙН-ШКОЛЫ.....	137
Шерстнева А.А. АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОГНИТИВНЫМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ.....	140
Молекулярная биология и биотехнология	143
Kiryowa Idrisa, Mohamed Said Boulkrane A MULTI-OMICS APPROACH ON THE PROGNOSTIC IMPLICATION OF CIC-DRIVEN GENE EXPRESSION SIGNATURES IN STOMACH ADENOCARCINOMA (STAD)	143

Молодая медицина: технологии, интеллект, трансформация	159
Стефанов Г.М., Якименко Ю.Ю., Колесникова П.А., Ковтунович И.Д. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ 2021-2025 ГГ ..	159
Щапова А.Ю., Щапов Д.Л., Манучарова К.А. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДОНОРОВ КРОВИ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	163
Прикладные задачи анализа данных	167
Абубакерова З.М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА	167
Гавриленко О.Р. СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ LLM НА ОСНОВЕ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ.....	171
Галышев Д.В., Яковенко А.Д. ОБНАРУЖЕНИЕ НАРУШЕНИЙ КРЕПЛЕНИЯ ДАТЧИКОВ С ПОМОЩЬЮ КАСКАДА АВТОЭНКОДЕРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ В ВИБРОДИАГНОСТИКЕ.....	179
Доненко С.Л., Доненко И.Л. РАСПРЕДЕЛЁННАЯ АРХИТЕКТУРА НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭСКАДРИЛЬЮ БПЛА (БЭК) ПРИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ	188
Инчина К.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЛОКАЛЬНОГО ВЕТРА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ РАБОТ	199
Павлов М.А., Иванов Е.А. РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О МАЛЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЯХ НАТЯНУТОЙ НИТИ С ПОДВЕШЕННЫМИ МАССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	205
Синицин Н.В. КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	210
Сорокин А.А. АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	218
Чудинова А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМ С КОНТЕЙНЕРНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИЕЙ	224
Чудинова М.А. ПРОГНОЗ ЧИСЛЕННОСТИ НЕКОММЕРЧЕСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ХАНТЫ- МАНСКИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ НА ПЕРИОД 2020–2025 ГГ	230

Ямкин М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ МЕЖДУ СКВАЖИНАМИ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	234
Техническое зрение.....	238
Ветров М.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОКАДРОВ	238
Технологический менеджмент и инновации	253
Вишневецкая А.О. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОБОСНОВАННОСТИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗНОРОДНОСТИ И НЕСТРУКТУРИРОВАННОСТИ ОТРАСЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ	253
Грицик М.О., Най Б.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ОРГАНИЗАЦИЙ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	261
New Approaches to Consumer Behaviour Studies From Classical.....	266
Gritsik M.O., Nai B.E. INTEGRATING DATA-DRIVEN AND BEHAVIOR-DRIVEN APPROACHES TO ACHIEVE TRUE PRODUCT MARKET FIT	266
Diachkova A.A., Dubrovskaya M.A. DIGITAL TRANSFORMATION OF CONSUMER BEHAVIOR: SYNTHESIS OF CLASSICAL THEORIES AND UGC ANALYSIS	270
Lazareva M.K. THE IMPACT OF CUSTOMER LOYALTY METRICS (NPS, CSAT, CES) ON PRODUCT DEVELOPMENT STRATEGY	277
Пронин Н.А. РЕСЕТЫ В НЕНАВЯЗЧИВОЙ АРХИТЕКТУРЕ ВЫБОРА: И ЕЕ КАУЗАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ И КАЧЕСТВО РЕШЕНИЙ	280
Физика наноструктур.....	284
Боженко С.А. КОМПЛЕКСНАЯ МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ДИАПАЗОНЕ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ	284
Орехова С.М. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ КВАЗИТВЕРДЫЕ АГРЕГАТЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (II, III).....	288
Хемоинформатика и биоинженерия: от цифровых решений до практического применения	291
Ласточкина К.Н. АНАЛИЗ СОСТАВА МОЧЕВЫХ КОНКРЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОСКОПИИ В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ И МЕТОДОВ ХЕМОМЕТРИКИ	291

Язык в эпоху алгоритмов: вызовы для преподавания и исследования	296
Валевич И.Е. МЕТАФОРИКА АНИМАЦИОННЫХ ФИЛЬМОВ PIXAR КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕПОДАВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ, КОММУНИКАЦИИ И РАЗВИТИЯ КОГНИТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА (6–9 ЛЕТ).....	296
Кругликова Е.В. МЕТОДЫ NLP ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ЛЕКСИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕКСТОВ УМК (НА ПРИМЕРЕ УМК “SPOTLIGHT” ДЛЯ 8 КЛАССА).....	298
Леонов Т.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАФОРИЧЕСКОЙ НАСЫЩЕННОСТИ В ЛИНГВОДИДАКТИЧЕСКОМ ДИСКУРСЕ XX И XXI ВЕКОВ.....	305
Мешкова М. ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЯЗЫКОВОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЕТЕЙ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ AI-СГЕНЕРИРОВАННЫХ ПЕСЕН ПО МЕТОДИКЕ В.Н. МЕЩЕРЯКОВОЙ	309
Рыбинская З.В. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ ПЕРЕВОДА РУССКОГО ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ	315
Сычева Я.Е. ШАГАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ С ВЫСОКИМ ПОДЪЁМОМ ОПОРЫ	319
Якименко Д.Д. АКАДЕМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ: ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СТРАТЕГИИ И ЭТИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ	327

**IV Международная конференция
«Молодые профессионалы.
Старт научной карьеры»
IV International Conference
«Young Professionals.
Start of a scientific career»
21–23 октября 2025 г.**

Сборник научных трудов

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

Компьютер: процессор x86 с тактовой частотой 500 МГц и выше; ОЗУ 512 Мб; 8Мб на
жёстком

диске; видеокарта SVGA 1280x1024 High Color (32 bit); привод CD-ROM.

Операционная система: Windows XP/7/8 и выше.

Программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader версии 6 и старше.

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 29.12.2025

Объем издания 12,8 Мб

Заказ 4939 от 29.12.2025

Материалы печатаются в авторской редакции

Н.Ф. Гусарова

П.А. Леушина

К.Д. Бутылкина

ИТМО

ISBN 978-5-7577-0747-1



9 785757 707471 >