

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



16+

32 2026
ЧАСТЬ I

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 32 (635) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук
Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук
Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)
Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)
Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)
Ахмеденов Кажмурат Максutowич, кандидат географических наук, ассоциированный профессор (Казахстан)
Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)
Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)
Буриев Хасан Чутбаевич, доктор биологических наук, профессор (Узбекистан)
Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)
Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)
Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)
Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)
Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Досманбетов Динар Бакбергенович, доктор философии (PhD), проректор по развитию и экономическим вопросам (Казахстан)
Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)
Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)
Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)
Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, доктор педагогических наук, и.о. профессора, декан (Узбекистан)
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)
Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Курпаяниди Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Кыят Эмине Лейла, доктор экономических наук (Турция)
Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)
Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)
Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)
Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)
Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)
Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)
Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)
Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)
Султанова Дилшода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Узаков Гулом Норбоевич, доктор технических наук, доцент (Узбекистан)
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры (Россия)
Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)
Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)
Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)
Шуклина Зинаида Николаевна, доктор экономических наук (Россия)

На обложке изображен *Сергей Петрович Боткин* (1832–1889), русский врач-терапевт, патологоанатом, физиолог и общественный деятель.

Будущий врач родился в московском доме, принадлежавшем его отцу, богатому купцу, торговцу китайским чаем и фабриканту Петру Кононовичу Боткину. Мать мальчика, Анна Ивановна, урожденная Посникова, занималась воспитанием детей, которых в семье Боткиных было 14. В возрасте 15 лет Сергей поступил в частный пансион эльзасского пастора Людвига Эннеса — элитное учебное заведение для детей состоятельных купцов и иностранцев.

Сергей Боткин проявлял склонность и способности к точным наукам, а потому планировал поступить в Московский университет на физико-математический факультет. Однако, поскольку юноша не получил гимназического образования, в итоге по вновь вышедшему императорскому указу открытой для него осталась только медицина. В 1850 году Сергей стал студентом Московского университета, а спустя пять лет окончил его с отличием.

Выпуск Сергея Боткина из университета пришелся на Крымскую войну, и сразу же после получения диплома молодой врач отправился туда. А после окончания войны Сергей Петрович уехал на длительную стажировку в Европу, где работал в клиниках и лабораториях под руководством знаменитых ученых. Именно в Европе вышли первые научные труды Боткина.

В 1860 году Сергей Петрович поступил на работу в клинику Санкт-Петербургской медико-хирургической академии. Всего год спустя 29-летний врач, защитивший к тому времени докторскую диссертацию, получил звание профессора и занял место руководителя клиники, где воспитал целую плеяду известных учеников. Санкт-Петербургская медико-хирургическая академия оставалась местом работы Боткина до конца жизни.

В 1865 году ученый основал эпидемиологическое общество, которое занималось борьбой с опасными инфекционными заболеваниями — холерой, тифом, оспой, чумой и другими. Под его руководством в Санкт-Петербурге возникли первые санитарные службы, в том числе и санитарная карета — прообраз нынешней скорой помощи. Ученый открыл и курировал столичную инфекционную больницу; ныне это Клиническая инфекционная больница Санкт-Петербурга имени С. П. Боткина.

Еще одним направлением деятельности Боткина стало развитие санаторно-курортного дела. Так, в течение долгого времени он изучал влияние крымского климата на течение туберкулеза и выступил инициатором строительства на Южном берегу Крыма нескольких санаториев — как для царской семьи, так и для менее именитых пациентов.

Заболел Боткин и об улучшении качества медицинского образования. В частности, он стоял у истоков об-

учения женщин сестринскому делу и медицине: открыл женскую фельдшерскую школу и женские врачебные курсы.

В 1878 году Боткина избрали председателем Общества русских врачей, которое он возглавлял до самой смерти. Также ученый был членом Общества попечения о раненых и больных воинах, работал заместителем председателя Комиссии общественного здоровья Санкт-Петербурга.

Важной вехой в биографии Боткина стал 1875 год, когда его назначили лейб-медиком императорской семьи. Помимо высочайших особ, среди пациентов доктора были многие известные ученые и деятели культуры. Но и простые люди могли попасть на прием к знаменитому доктору, причем с бедняков денег он не брал.

Научная сфера Боткина не ограничивалась экспериментальной научной терапией и клинической диагностикой. В своей лаборатории он изучал фармакологию, физиологию, ставил различные эксперименты, чтобы понять сущность патологических процессов в организме. Результатом исследовательской деятельности Боткина стало множество открытий: именно он первым обнаружил инфекционную природу одного из видов гепатита, ныне известного как болезнь Боткина; выявил особенности строения белковых молекул в различных органах; сформулировал клинические признаки и приемы диагностики опущенной и блуждающей почки.

Ученый исходил из понимания организма как сложного целого, отдельные системы которого — как физические, так и психические — тесно связаны друг с другом и зависят от окружающей среды. Именно поэтому он разработал комплексный взгляд на диагностику и лечение заболеваний. Особую роль при этом Боткин отводил центральной нервной системе, которая, по его мнению, обеспечивает влияние локальных патологических процессов на организм в целом. Авторству Боткина принадлежит более 70 научных трудов, посвященных фармакологии, патофизиологии, терапии, в том числе инфекционной.

За свой многолетний благотворный труд ученый был удостоен многих орденов Российской империи — Св. Александра Невского, Белого Орла, Св. Владимира II степени, Св. Анны I степени, Св. Станислава II степени. В 1877 году ему был пожалован высокий чин тайного советника.

Однако со временем и у самого доктора обнаружились проблемы со здоровьем. В 1889 году Сергей Петрович отправился во Францию, чтобы на морском курорте восстановить силы, однако было поздно: в декабре 1889 года он скончался в городке Ментон на Лазурном берегу. Смерть наступила от обширного инфаркта миокарда. Тело доктора доставили в Россию, похороны прошли в Санкт-Петербурге.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Гендлер С. Е.

Методический подход к проектированию программного модуля автоматизации операционных процессов сервисной компании при миграции с унаследованной информационной системы..... 1

Жарков Н. А.

Развитие взаимодействия бэкенда и фронтенда: от AJAX до современных паттернов коммуникации 4

Istomin A. A., Lyadova L. N.

Explainable bot detection in social media using gradient boosting and SHAP analysis..... 6

Сергеева А. С.

Эволюция гибридного интеллекта: от автоматизации к симбиозу человека и машины.....11

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Башкиров М. П.

Оценка влияния повышенной температуры окружающего воздуха на токовые нагрузки судовых кабельных линий в тропических условиях эксплуатации13

Башкиров М. П.

Оценка остаточного ресурса изоляции по значению диэлектрических потерь на высших гармониках при воздействии соленого тумана14

Башкиров М. П.

Повышение надежности работы судовых автоматических выключателей при частых коммутациях в режиме стоянки у причала16

Башкиров М. П.

Снижение пусковых токов судовых асинхронных двигателей насосов путем применения устройств плавного пуска с регулировкой напряжения17

Башкиров М. П.

Способы защиты судовых электрических машин от перегрева при длительной работе на якоре19

Буренин А. В.

Модель механических свойств материала ракет на твердом топливе. Методика оценки прочности, надежности полимерных композитных конструкций при многофакторном термосиловом нагружении21

Молчанов И. А., Бабенков Ю. М., Лемза Д.,

Фролов Д. А., Литвинов Д. А.
Методика расчёта нелинейных систем с помощью метода гармонической линеаризации.....24

Найденов И. В.

Способ переохлаждения и заморозки водосодержащих продуктов и биологических объектов: экспериментальная верификация и перспективы применения30

Пиналов Г. М.

Сравнительный анализ методов диагностики отказов датчиков в автоматизированных технических системах.....35

Пиналов Г. М.

Повышение точности позиционирования сервоприводов в мехатронных системах за счет адаптивных алгоритмов управления.....37

Синицын А. В.

Разработка экспериментальной закрытой установки лазерной обработки материалов с локализованным излучением и диодным источником 445 нм (NUBM47A1) для уроков труда в учебных заведениях39

Сморчков М. Д.

Автоматизация сбора и анализа финансовых данных интернет-магазина с использованием API маркетплейса.....42

Сотников В. Г.

Оптимизация режимов паровой активации углеродных материалов из прекурсоров растительного происхождения.....44

МЕДИЦИНА

- Кулиева А. Р., Гагоева И. Т., Доева В. А.**
Роль параоксоназ в ликвидации
окислительного стресса и профилактике
атеросклероза46

ГЕОЛОГИЯ

- Чибидин В. С.**
Полезные ископаемые: перспективы
разработок.....50

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Тришина О. Н.**
Анализ медопродуктивности буквицы
лекарственной.....57

ЭКОНОМИКА
И УПРАВЛЕНИЕ

- Гордиенко Т. В.**
Совершенствование системы
государственного управления в области
образования лиц с ограниченными
возможностями здоровья и инвалидностью
(на примере Санкт-Петербурга)60
- Груздева В. Е.**
Анализ бизнес-процессов на основе
проектной документации: диаграмма Ганта,
реестр рисков и матрица ответственности64

Забиров Н. Н.

Методический подход к идентификации
рисков на этапе инициации строительных
проектов с применением инструментов
генеративного искусственного интеллекта66

Корсакова Е. А.

Стратегическая зрелость системы
управления персоналом организации:
методический подход к оценке68

МАРКЕТИНГ, РЕКЛАМА И PR

Киселева К. А., Осоткин Н. В.

Ценовая чувствительность потребителей
и роль промо-акций в формировании
покупательского поведения на российском
рынке кондитерских изделий.....71

Лутай М. А.

Зоопарк 2.0: новая бизнес-модель
взаимодействия человека и животного73

Лутай М. А.

Зоопарк как бизнес: стратегии монетизации
инфраструктуры и создания добавочной
стоимости75

Лутай М. А.

Белгородский зоопарк: переезд и новая
жизнь на 25 гектарах.....76

Седлова А. А.

Комплексное маркетинговое исследование
при географической экспансии сервисных
компаний HoReCa: методология и результаты...78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методический подход к проектированию программного модуля автоматизации операционных процессов сервисной компании при миграции с унаследованной информационной системы

Гендлер Семен Евгеньевич, студент

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Пермский филиал

В статье представлен методический подход к проектированию программного модуля автоматизации операционных процессов сервисной компании при переходе от унаследованной файл-серверной системы к многозвенной архитектуре. Рассматриваются анализ предметной области, обоснование архитектурных решений и результаты апробации подхода на примере сервисной компании (Компания X). Показано, что сочетание структурного анализа процессов, иерархического моделирования C4/UML и ETL-миграции данных обеспечивает воспроизводимый переход от унаследованных систем к современным решениям.

Ключевые слова: legacy-системы, автоматизация бизнес-процессов, многозвенная архитектура, C4 model, миграция данных, ETL, проектирование информационных систем.

1. Актуальность и постановка проблемы исследования

Скорость и качество обработки заявок абонентов — ключевое конкурентное преимущество сервисных предприятий сферы ЖКХ. Однако значительная часть малого и среднего бизнеса продолжает эксплуатировать устаревшие («legacy») информационные системы на файловых СУБД, что сопряжено с низкой отказоустойчивостью и высокой зависимостью работоспособности от компетенций одного специалиста [1].

Исследование выполнено на примере компании, оказывающей услуги по установке, ремонту и обслуживанию систем контроля доступа в многоквартирных домах (далее — Компания X), информационная инфраструктура которой базировалась на файл-серверной архитектуре и процедурных скриптах. Такая ситуация типична для отрасли: отсутствие веб-доступа исключает оперативное взаимодействие диспетчерской службы и выездного персонала, а отсутствие транзакционного контроля создает риск потери финансовых данных. Актуальность исследования — в необходимости воспроизводимого методического подхода к переходу от подобных систем к многозвенным архитектурам, применимого к широкому классу малых сервисных компаний.

Объект исследования — процессы операционного управления сервисной компанией; предмет — методика проектирования модуля автоматизации, обеспечиваю-

щего замену унаследованной системы и безопасную миграцию данных. Цель — разработка и апробация такого подхода, обеспечивающего повышение отказоустойчивости, сокращение времени обработки заявок и целостность данных при миграции.

Исследовательские вопросы:

- 1) какие потери возникают при обработке заявок в унаследованной инфраструктуре и как их формализовать для проектирования;
- 2) какая комбинация методов моделирования обеспечивает переход к многозвенной архитектуре без потери исторических данных;
- 3) как верифицировать эффективность подхода на практике.

2. Методология исследования

Использован комплексный методологический подход, сочетающий структурный анализ бизнес-процессов (нотация BPMN) — для формализации жизненного цикла заявки и выявления узких мест процесса, — и архитектурное моделирование. Для проектирования архитектуры выбрана комбинация C4 Model [2] и UML (ISO/IEC 19505) [3]: совместное применение этих методов позволяет строить иерархию моделей разной степени детализации (от системного контекста до компонентов), избегая перегруженности диаграмм и неоднозначности трактовки решений.

Структура хранения данных проектировалась методом «сущность–связь» в нотации Crow's Foot с нормализацией до третьей нормальной формы [4], что устраняет дублирование и аномалии обновления, характерные для исходной файловой структуры. Для безопасного переноса исторических данных применен подход ETL (Extract, Transform, Load) — стандартный метод миграции между разнородными по структуре и кодировке источниками.

Формализация требований опиралась на ГОСТ 19.201–78 [5], обеспечивающий полноту и однозначность их описания. Верификация результатов проектирования проводилась посредством модульного тестирования по паттерну AAA (Arrange — Act — Assert) [6], интеграционного тестирования API и сквозного (end-to-end) тестирования.

3. Организация исследования: анализ предметной области

На первом этапе выполнен анализ бизнес-процессов Компании X с выделением трех контуров: коммерческого, операционно-технического и финансового. Формализация жизненного цикла заявки показала, что наиболее критичное узкое место — разрыв между регистрацией заявки диспетчером и её передачей мастеру: распределение заявок происходило пакетно, а не в реальном времени, вызывая задержку реакции на инциденты.

На втором этапе проведен сравнительный анализ универсальной CRM-платформы и специализированного отраслевого решения по пяти критериям (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов к автоматизации операционных процессов сервисной компании

Критерий	Универс. CRM	Отраслевое решение	Разраб. модуль
Отраслевая специализация	Низкая	Высокая	Высокая
Стоимость владения	Высокая	Высокая	Средняя
Веб-доступ выездным	Есть	Есть	Есть
Гибкость миграции данных	Низкая	Низкая	Высокая
Отказоустойчивость	Высокая	Высокая	Высокая

Анализ показал: универсальные CRM ориентированы на модель «сделка/лид», плохо адаптируемую к иерархии объектов обслуживания; отраслевые решения избыточны либо экономически нецелесообразны; инструментов контролируемой миграции исторических данных не предоставляет ни одно из решений. Это подтвердило целесообразность разработки собственного модуля как объекта апробации методики. Результаты анализа формализованы в виде требований в соответствии с [5] и легли в основу архитектурного проектирования.

4. Применение методики: проектирование архитектуры и структуры данных

Практическое применение методики выполнено на примере проектирования модуля для Компании X. Выбрана многослойная клиент-серверная архитектура, разделяющая интерфейс, бизнес-логику и хранение данных. Проектирование велось на трех уровнях нотации C4: контексте (границы системы, пользователи, интеграция с банковской системой и унаследованной БД), контейнерах (веб-приложение, сервер приложений с REST-интерфейсом, сервер БД с ACID-целостностью [9]) и компонентах (рис. 1).

Для серверной части выбран шаблон Vertical Slice Architecture [7]: код группируется не по техническому назначению, а по бизнес-сценариям («функциональным срезам»), что, в отличие от традиционной многослойной архитектуры [8], повышает связность кода и снижает риск перегруженных классов. Структура данных спроектирована в ЗНФ [4] для устранения избыточности исходной

базы; безопасный перенос данных обеспечивает ETL-модуль (извлечение, нормализация и конвертация кодировки, загрузка с восстановлением связей).

Динамика формализована диаграммами последовательностей UML (регистрация и маршрутизация заявки) и диаграммой состояний жизненного цикла заявки («Новая», «Назначена», «В работе», «Выполнена»/«Отменена»). Это устранило влияние человеческого фактора и перевело маршрутизацию в реальное время, отвечая на второй исследовательский вопрос.

5. Апробация и оценка результатов

Апробация методики включала три уровня верификации. Модульное тестирование серверной логики проводилось по паттерну AAA [6] на изолированной базе в памяти: проверялись позитивные (успешное создание сущности) и негативные (отклонение запроса при некорректных данных) случаи; результаты подтвердили корректность алгоритмов на уровне кода.

Интеграционное тестирование API подтвердило корректность обработки некорректных данных (400 Bad Request) и сохранение транзакций (201 Created). Сквозное тестирование, имитирующее действия диспетчера в веб-интерфейсе, подтвердило реактивность интерфейса и целостность связки «клиент — сервер — база данных».

Результаты показывают, что методика — сочетание моделирования C4/UML, нормализованного проектирования данных и ETL-миграции — обеспечивает не только корректность реализации, но и устранение узких мест, выявленных при анализе предметной области: коммуни-

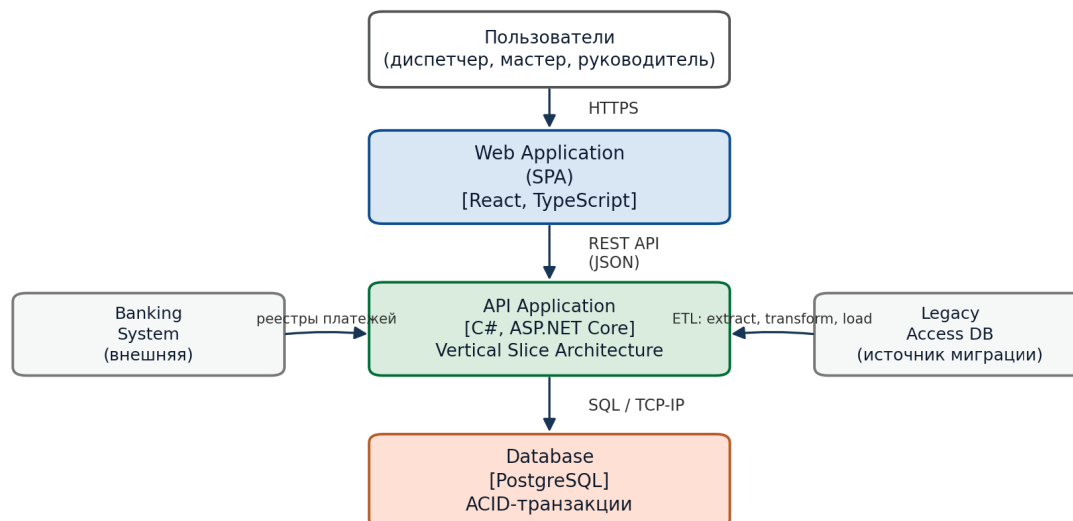


Рис. 1. Архитектура программного модуля на уровне контейнеров (C4 Container, по [2])

кационного разрыва и рисков целостности финансовых данных.

6. Заключение

Исследование позволило сформулировать и апробировать методический подход к проектированию программного модуля автоматизации операционных процессов сервисной компании при переходе от унаследованной системы к многозвенной архитектуре. Научная новизна — в сочетании структурного анализа процессов, иерархического моделирования C4/UML, нормализованного

проектирования данных и ETL-миграции в единую воспроизводимую методику, применимую к широкому классу малых и средних сервисных предприятий с унаследованными системами.

Апробация на примере Компании X подтвердила практическую состоятельность подхода: тестирование на трех уровнях показало корректность решений, а формализация жизненного цикла заявки устранила зависимость процесса от человеческого фактора. Ограничение исследования — апробация на примере одного предприятия, что определяет направление дальнейших исследований: верификацию подхода на выборке компаний со схожей проблематикой.

Литература:

1. Зарипова В. М., Петрова И. Ю. Унаследованные информационные системы. Проблемы и решения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. № 2 (40).
2. Brown S. The C4 model for visualising software architecture [Электронный ресурс] // URL: <https://c4model.com/>
3. ISO/IEC 19505–1:2012. Information technology — Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML) — Part 1: Infrastructure.
4. Коннолли, Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. / Т. Коннолли, К. Бегг. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2003. — 1436 с.
5. ГОСТ 19.201–78. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.
6. Хориков В. Принципы юнит-тестирования. — СПб.: Питер, 2021. — 320 с.
7. Bogard J. Vertical Slice Architecture // Jimmy Bogard's Blog. [Электронный ресурс] // URL: <https://jimmybogard.com/vertical-slice-architecture/>
8. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. — М.: Вильямс, 2006. — 544 с.
9. Костенко И. П., Ступина М. В. Обеспечение требований ACID для высоконагруженных СУБД // Молодой исследователь Дона. 2023. № 3 (42).

Развитие взаимодействия бэкенда и фронтенда: от AJAX до современных паттернов коммуникации

Жарков Никита Александрович, студент

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье рассматривается эволюция способов взаимодействия клиентской и серверной частей веб-приложений. Прослеживается путь от первых асинхронных запросов через XMLHttpRequest до современных паттернов, включающих промисы, async/await, middleware-слои, слайс-архитектуру и WebSocket-соединения. Анализируются предпосылки каждого этапа развития, технические ограничения, которые они преодолевали, и новые возможности, которые открывали для разработчиков. Особое внимание уделяется тому, как эволюция языка JavaScript и изменение архитектурных парадигм повлияли на способы организации кода и коммуникации между фронтендом и бэкендом.

Введение

Взаимодействие между фронтендом и бэкендом — фундаментальная проблема веб-разработки, эволюционировавшая вместе с развитием самого веба. От простых синхронных запросов, требовавших полной перезагрузки страницы, до сложных асинхронных пайплайнов и двусторонних realtime-соединений — этот путь отражает стремление разработчиков к более отзывчивым, масштабируемым и удобным для пользователя приложениям.

JavaScript, родившийся в 1995 году как язык для простых сценариев в браузере, прошёл долгий путь превращения в основную платформу для построения сложных клиентских и серверных систем. Ключевым фактором этого развития стала необходимость эффективно управлять асинхронными операциями — HTTP-запросами, обработкой пользовательских событий, файловым вводом-выводом. Цель данной статьи — систематизировать этапы развития технологий взаимодействия фронтенда и бэкенда, показав логику и предпосылки каждого шага этой эволюции.

Зарождение асинхронной коммуникации: AJAX и XMLHttpRequest

До начала 2000-х годов веб-приложения были преимущественно статичными. Для получения новых данных от сервера требовалась полная перезагрузка страницы — пользовательский опыт оставлял желать лучшего. Переломным моментом стало появление объекта XMLHttpRequest (XHR), впервые реализованного Microsoft в 1999 году для Outlook Web Access.

Термин AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) был введён в 2005 году, но сама технология стала широко известна благодаря внедрению в таких продуктах, как Google Suggest, Gmail и Google Maps. AJAX позволил обмениваться данными с сервером асинхронно, без перезагрузки страницы, обновляя лишь отдельные её части. Это был настоящий прорыв, открывший эру динамических веб-приложений.

Однако ранний AJAX имел серьёзные ограничения. Управление асинхронными операциями осуществлялось

через колбэки (callback-функции). При росте числа последовательных запросов код превращался в глубоко вложенную структуру — печально известный «ад колбэков» (callback hell). Код становился трудночитаемым, сложным для отладки и поддержки. Кроме того, механизмы обработки ошибок при использовании колбэков было легко пропустить.

Промисы как первый шаг к управляемой асинхронности

Ответом на проблемы колбэков стало появление промисов (Promises). Хотя концепция существовала в различных библиотеках с начала 2010-х годов (Q, When.js, Bluebird), стандартизация произошла лишь в спецификации ECMAScript 2015 (ES6).

Промис представляет собой объект, который содержит результат асинхронной операции — либо успешно выполненной, либо завершившейся ошибкой. Вместо вложенных колбэков разработчики получили цепочки вызовов через `then()` и `catch()`, что сделало код более линейным и читаемым. Промисы обеспечили стандартизированную обработку ошибок, возможность параллельного выполнения операций через `Promise.all` и `Promise.race`.

Тем не менее, даже с промисами код оставался достаточно громоздким, особенно для сложных последовательных операций. Разработчикам по-прежнему приходилось явно управлять цепочками вызовов, что не всегда было интуитивно.

Async/await асинхронного кода

Настоящей революцией в организации асинхронного кода стало появление конструкций `async` и `await` в ECMAScript 2017 (ES8). Эта синтаксическая надстройка над промисами позволила писать асинхронный код так, как если бы он был синхронным.

Ключевое преимущество `async/await` — возможность использовать знакомые конструкции `try/catch` для обработки ошибок, что сделало асинхронный код значительно более понятным для разработчиков, особенно для тех, кто

пришёл из синхронных языков. Код стал более читаемым, предсказуемым и лёгким в поддержке.

Дальнейшее развитие этой парадигмы включало асинхронные итераторы в ECMAScript 2018 для работы с потоками асинхронных данных.

Эволюция архитектуры взаимодействия в рамках middleware

Параллельно с развитием языковых конструкций эволюционировали и архитектурные паттерны организации кода на стороне сервера и клиента. Концепция middleware (промежуточного программного обеспечения) стала одним из ключевых элементов современных веб-фреймворков.

Идея middleware заключается в создании концентрических слоёв, окружающих основное приложение. Каждый middleware-слой может модифицировать запрос, ответ или контекст, передавая управление следующему слою через вызов `next()`. Эта архитектура обеспечивает высокую гибкость: функции аутентификации, логирования, сжатия, обработки ошибок и многие другие могут быть легко добавлены или удалены без изменения основной логики приложения.

Эволюция middleware тесно связана с развитием асинхронных возможностей JavaScript. Ранние реализации, такие как Express.js, использовали колбэки. Фреймворк Коа последовательно прошёл путь от генераторов до `async/await`, демонстрируя, как с развитием языка эволюционировала идея веб-фреймворков, основанных на middleware. Современные реализации, включая middleware в Next.js, позволяют разработчикам добавлять динамический код и маршрутизацию непосредственно в обработку запросов.

Слайс-архитектура: модульность на уровне предметных областей

Другим важным архитектурным трендом стало разделение кода по предметным областям — так называемые слайсы (slices). Наиболее системно этот подход реализован в методологии Feature-Sliced Design (FSD).

Слайс — это независимый модуль, группирующий код по его значению для продукта или бизнеса. Внутри слайса код может быть дополнительно разделён по техническому назначению: UI-компоненты, модель данных (store, actions), API-взаимодействия и утилиты. Ключевой принцип — слайсы не могут использовать другие слайсы на том же уровне, что обеспечивает высокую связность (cohesion) при низкой связанности (coupling).

В контексте взаимодействия с бэкендом слайс-архитектура предлагает чёткую организацию кода, отвечающего за коммуникацию: API-сегменты внутри слайса инкапсулируют всю логику работы с внешними сервисами, что делает код более предсказуемым и тести-

руемым. Особенно ярко этот подход проявляется в сочетании с Redux Toolkit, где слайсы (slices) объединяют редьюсеры и экшны в одном месте, упрощая управление состоянием.

WebSockets: двунаправленная реальная коммуникация

Отдельной важной вехой в развитии взаимодействия фронтенда и бэкенда стало появление WebSockets. История этой технологии — это история преодоления ограничений протокола HTTP, изначально не предназначенного для непрерывной двунаправленной связи.

В 2000-х годах разработчики пытались создавать realtime-приложения, «взламывая» существующие HTTP-технологии, такие как AJAX и Comet, которые не были оптимизированы для realtime-сценариев. Эти решения требовали множества одновременных HTTP-соединений, сложных систем управления состоянием и потребляли избыточные ресурсы сервера.

В 2008 году W3C начал разработку протокола WebSocket, а в 2011 году он стал стандартом браузеров (RFC 6455). В декабре 2009 года Google Chrome 4 стал первым браузером с полной поддержкой WebSockets.

WebSocket устанавливает постоянное соединение между клиентом и сервером. В отличие от HTTP, где инициатива всегда принадлежит клиенту, WebSocket позволяет серверу отправлять данные в любой момент. Это открыло возможности для создания чатов, игр, систем мониторинга, биржевых приложений и других сервисов, требующих мгновенной доставки данных.

Заключение

Эволюция взаимодействия бэкенда и фронтенда — это история последовательного — преодоления ограничений. От примитивных синхронных запросов через колбэк-ориентированный AJAX к управляемым промисам, затем к синтаксически элегантному `async/await` — каждый этап делал асинхронный код более читаемым, надёжным и удобным для разработчика. Параллельно архитектурные паттерны — middleware и слайсы — обеспечивали структурирование кода на уровне приложения, а WebSocket-протокол решил проблему двунаправленной realtime-коммуникации.

Сегодняшний разработчик имеет в своём распоряжении богатый инструментарий: `async/await` для управления асинхронностью, middleware-стеки для гибкой обработки запросов, слайс-архитектуру для организации кода по предметным областям и WebSockets для realtime-взаимодействия. Понимание того, как и почему возникли эти технологии, позволяет не только эффективно применять их на практике, но и предвидеть направления дальнейшего развития — будь то улучшение работы с потоками данных, новые паттерны композиции или эволюция транспортных протоколов.

Литература:

1. Kalyan, P. C. Evolution of Asynchronous JavaScript / P. C. Kalyan. — Текст: электронный // DevTo: [сайт]. — URL: <https://dev.to/pckalyan/evolution-of-asynchronous-javascript-1ca3> (дата обращения: 06.08.2026).
2. Matthew, O’Riordan The Road to WebSockets: From HTTP Polling to RFC 6455 / O’Riordan Matthew. — Текст: электронный // WebSocket.org: [сайт]. — URL: <https://websocket.org/guides/road-to-websockets> (дата обращения: 06.08.2026).
3. Asynchronous JavaScript. — Текст: электронный // RisingStack: [сайт]. — URL: <https://blog.risingstack.com/asynchronous-javascript/> (дата обращения: 06.08.2026).
4. Коа и эволюция middleware. — Текст: электронный // HolyJS: [сайт]. — URL: <https://2016.holyjs-moscow.ru/talks/koa-and-middleware-evolution/> (дата обращения: 06.08.2026).
5. Overview. — Текст: электронный // FSD: [сайт]. — URL: <https://fsd.how/ru/docs/get-started/overview/> (дата обращения: 06.08.2026).

Explainable bot detection in social media using gradient boosting and SHAP analysis

Istomin Aleksandr Alekseevich, student;

Lyadova Lyudmila Nikolaevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor
National Research University «Higher School of Economics», Perm Branch

The growing prevalence of automated accounts (bots) in social media undermines the credibility of online discourse, distorts engagement metrics, and complicates content moderation. This paper presents a machine learning approach to social media bot detection based on gradient boosting (CatBoost) combined with SHAP (SHapley Additive exPlanations) for interpretable classification. A feature space of 16 behavioral, profile-based, and social indicators is proposed, along with a two-threshold verdict scheme that categorizes accounts as bots, suspicious, or genuine. The model is evaluated on the TwiBot-22 and Cresci-2017 benchmark datasets, achieving F1-scores of 0.842 and 0.961 respectively, outperforming Random Forest and SVM baselines. SHAP analysis reveals that account age, posting frequency regularity, and follower-to-following ratio are the most discriminative features. The proposed approach is designed for integration into a web-based bot detection platform (BotDetect), where SHAP explanations provide community administrators with transparent justifications for each classification decision.

Keywords: bot detection, social media, machine learning, gradient boosting, CatBoost, SHAP, explainable AI, feature engineering.

1. Introduction

Social media platforms have become integral to modern communication, yet the proliferation of automated accounts, commonly referred to as bots, poses a significant threat to the integrity of online discourse [1]. Bots are employed for a wide range of malicious purposes, including dissemination of misinformation, artificial inflation of engagement metrics, and manipulation of public opinion [2]. According to recent estimates, automated accounts may generate up to 47 % of traffic on major social media platforms [3].

Existing approaches to bot detection can be broadly categorized into rule-based, feature-engineering-based, and deep learning methods [4]. While deep learning approaches, particularly graph neural networks, have demonstrated strong performance on structured benchmarks such as TwiBot-22 [5], they often lack interpretability, which is critical for practical deployment where community administrators must justify moderation decisions.

Furthermore, cross-dataset generalization remains a persistent challenge: models achieving 98 % accuracy on older benchmarks may perform near randomly on unseen data distributions [6]. This means that reported quality metrics often reflect the idiosyncrasies of a particular sample rather than the model’s ability to detect automated behaviour as such.

The present work addresses these limitations by proposing an explainable bot detection approach based on gradient boosting (CatBoost) combined with SHAP analysis. The key contributions are:

- 1) a systematically designed feature space of 16 indicators spanning profile, behavioral, and social categories;
- 2) a two-threshold classification scheme producing actionable verdicts;
- 3) SHAP-based explanations providing per-account feature attributions; and
- 4) experimental evaluation on two benchmark datasets demonstrating competitive performance against both classical and deep learning baselines.

2. Related Work

2.1. Machine Learning Approaches to Bot Detection. Supervised machine learning has been the dominant paradigm for bot detection since the early work of Cresci et al. [7]. Aljabri et al. [4] provide a comprehensive survey identifying four generations of bot detectors, from simple classifiers to graph-based deep learning. Nguyen et al. [6] benchmarked 35 supervised learning models across multiple datasets, finding that ensemble methods, particularly Random Forest and gradient boosting variants, demonstrate the most robust cross-dataset generalization, whereas deep learning models showed higher within-dataset accuracy but substantially degraded performance under distribution shift.

Gradient boosting methods have been successfully applied to bot detection in several studies. Shevtsov et al. [8] developed an XGBoost-based framework achieving an F1-score of 0.916 on US 2020 election data. Li et al. [9] combined Particle Swarm Optimization with CatBoost for social spammer detection. More recently, Cheng et al. [10] proposed CB-MTE, a CatBoost framework incorporating semantic and graph features, achieving a macro-F1 of 80.84 % on TwiBot-22.

2.2. Explainability in Bot Detection. The need for explainability in bot detection has been recognized as essential for building trust in automated moderation systems [11]. Shevtsov et al. [8] pioneered the combined use of XGBoost and SHAP, revealing that account age and social activity levels are the most critical discriminators. Tabassum et al. [12] demonstrated that only 6 of 19 commonly used features are sufficient for effective detection, with no statistically significant performance loss. Lopez-Joya et al. [13] applied SHAP to analyze misclassified bots, identifying that low URL usage in tweets is a primary evasion strategy.

2.3. Bot Detection on Russian Social Networks. Research on bot detection in Russian-language social networks is limited but growing. Samokhvalov [14] applied CatBoost to VKontakte data, achieving AUC of 0.91 on a dataset of over 280,000 accounts. Kolomeets and Chechulin [15] introduced novel bot quality metrics using the MKMETRIC2022 dataset, demonstrating that sophisticated VK bots with high-quality profiles are virtually indistinguishable from humans by manual inspection. The latter result underlines the practical demand for automated detection tools supplemented with an explanation of the decision taken.

3. Proposed Approach

3.1. Feature Space Design. For each account under analysis, a feature vector $x(a) \in \mathbb{R}^{16}$ is computed from data obtained through the social network API. The features are organized into three groups: profile (P1–P6), behavioral (B1–B7), and social (S1–S3). The composition of the feature space is presented in Table 1.

Table 1. Feature space of the analyzed account

Notation	Feature	Interpretation
P1	Account age	Number of days since registration
P2	Non-default avatar	Indicator that the avatar differs from the default image
P3	Profile description length	Number of characters in the bio field
P4	Follower-to-following ratio	Ratio of followers to followed accounts
P5	Total publication count	Overall number of posts on the account
P6	Verification status	Presence of platform verification
B1	Mean daily posting frequency	Average number of posts per day
B2	SD of inter-post intervals	Measure of temporal irregularity of activity
B3	Repost ratio	Ratio of reposts to the total number of posts
B4	Entropy of hourly activity	Uniformity of post distribution across hours of the day
B5	Proportion of posts with URLs	Share of posts containing external links
B6	Mean likes per post	Average audience response to a post
B7	Mean comments per post	Average audience engagement in discussion
S1	Mutual follow ratio	Ratio of reciprocal ties to all ties
S2	Unique interlocutors in comments	Number of distinct users in comment threads
S3	Mean comment length	Average number of characters in the account's comments

Profile features capture static account characteristics. They are robust across time periods and have been consistently identified as strong discriminators in prior work [4, 12]. Behavioral features capture dynamic activity patterns. Low entropy of temporal activity (B4) is a particularly informative signal, as automated accounts tend to exhibit concentrated posting patterns [8]. Social features characterize the social embeddedness of an account, which is difficult for simple bots to replicate [15].

3.2. Classification Model. The classification task is formulated as follows. Given a training set $D = \{(x_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, N$, where x_i is a 16-dimensional feature vector and $y_i \in \{0, 1\}$ is a binary label (0 for genuine, 1 for bot), the goal is to learn a function $f: \mathbb{R}^{16} \rightarrow [0, 1]$ mapping feature vectors to bot probabilities.

CatBoost is selected as the primary classifier due to its native support for categorical features, built-in class imbalance handling via `scale_pos_weight`, and competitive performance on tabular data [10]. The model is an additive ensemble of decision trees:

$$F(x) = \sum \gamma_t \cdot h_t(x), t = 1, \dots, T, \tag{1}$$

where T is the number of trees, h_t is the t -th tree, and γ_t is its coefficient. The bot probability is obtained via the sigmoid function:

$$p(bot \mid x) = \sigma(F(x)). \tag{2}$$

Training minimizes the weighted log-loss with L2 regularization. Hyperparameters are tuned via 5-fold cross-validation using Optuna, with the search space: tree depth in [4, 8], learning rate in [0.01, 0.1], iterations in [500, 2000] with early stopping patience of 50, and L2 regularization strength in [1, 10].

3.3. Two-Threshold Verdict Scheme. The raw probability output is converted to a categorical verdict using two configurable thresholds: τ_1 (default 0.80) for the bot threshold and τ_2 (default 0.50) for the suspicious threshold:

$$\text{if } p \geq \tau_1 \text{ — “bot”; if } \tau_2 \leq p < \tau_1 \text{ — “suspicious”; if } p < \tau_2 \text{ — “genuine”}. \tag{3}$$

This scheme provides community administrators with a nuanced assessment rather than a binary decision, allowing them to prioritize review of suspicious accounts. Threshold configurability matters in practice: communities with different costs of false positives and false negatives require different detection sensitivity.

3.4. SHAP-Based Explanations. For each classified account, SHAP values ϕ_j are computed for all 16 features, satisfying the additivity property:

$$f(x) = \phi_0 + \sum \phi_j, j = 1, \dots, 16, \tag{4}$$

where ϕ_0 is the base model value corresponding to the average prediction over the training set. The top-5 features by absolute SHAP value are included in the classification report, with their direction of influence (increasing or decreasing bot probability) and the account’s actual feature value. This enables administrators to understand why a specific account was flagged, supporting informed manual review decisions.

4. Experimental Evaluation

4.1. Datasets. Experiments are conducted on two established benchmarks. TwiBot-22 [5] is the current gold-standard dataset, comprising approximately 1 million Twitter accounts with graph structure and multiple annotation types. Cresci-2017 [7] is a widely used earlier benchmark containing genuine accounts and several categories of social bots. Using both datasets makes it possible to assess not only classification quality but also the model’s ability to transfer to data of a different origin.

4.2. Baselines and Metrics. CatBoost is compared against Random Forest and SVM with RBF kernel as classical baselines, and against published results for BotRGCN [16] and RGT [17] as deep learning references. All models are evaluated using Accuracy, Precision, Recall, F1-score, and AUC-ROC. F1-score serves as the primary comparison metric, as it jointly captures detection completeness and precision, which is essential under pronounced class imbalance.

4.3. Results. Table 2 presents the classification results on both datasets. On TwiBot-22, CatBoost achieves an F1-score of 0.842, outperforming Random Forest (0.793) and SVM (0.776), and approaching the performance of the graph-based method RGT (0.867), which, unlike the proposed approach, requires full social graph data. On Cresci-2017, CatBoost achieves an F1-score of 0.961.

Table 2. Classification results on the benchmark datasets

Model	F1, TwiBot-22	F1, Cresci-2017	F1, transfer TwiBot-22 → Cresci-2017
CatBoost (proposed approach)	0.842	0.961	0.723
Random Forest	0.793	n/a	0.681
SVM (RBF kernel)	0.776	n/a	0.614
RGT [17] (graph-based)	0.867	n/a	n/a

Note: “n/a” denotes a value that was not measured.

Notably, CatBoost demonstrates the strongest cross-dataset generalization: when trained on TwiBot-22 and tested on Cresci-2017 without retraining, F1 drops to 0.723, while Random Forest drops to 0.681 and SVM to 0.614. This confirms the finding of Nguyen et al. [6] that ensemble tree methods offer superior transfer properties, and supports the practical applicability of the approach when the data distribution of the target platform differs from the training one.

4.4. SHAP Feature Importance Analysis. Fig. 1 presents the global SHAP feature importance ranking averaged across the TwiBot-22 test set.

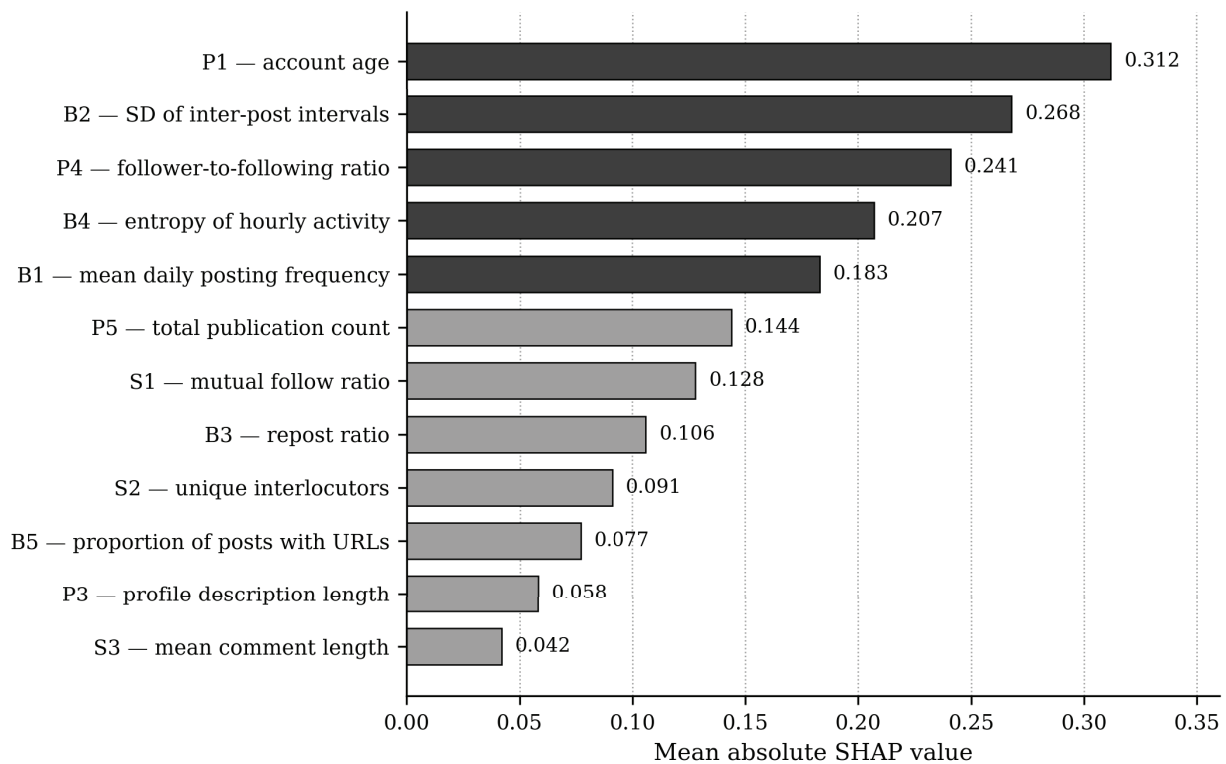


Fig. 1. Global SHAP feature importance ranking (TwiBot-22 test set)

The top-5 most influential features are:

- 1) account age (P1),
- 2) standard deviation of inter-post intervals (B2),
- 3) follower-to-following ratio (P4),
- 4) entropy of hourly activity (B4), and
- 5) mean daily posting frequency (B1).

Profile features dominate the top-3, confirming findings of Tabassum et al. [12], while behavioral features occupy positions 2, 4, and 5, indicating that temporal regularity is a strong bot indicator.

Analysis of individual SHAP explanations reveals interpretable patterns. For accounts classified as bots with high confidence ($p > 0.95$), the most common explanation patterns involve very young account age combined with high posting frequency and near-zero entropy of activity distribution, indicating concentrated automated activity. For suspicious accounts ($0.50 < p < 0.80$), explanations typically highlight anomalous follower-to-following ratios combined with moderate posting regularity, suggesting more sophisticated automation.

5. Architecture Integration

The proposed model is deployed within BotDetect, a web-based platform for social media bot analysis. The system follows a microservice architecture with four containers: a web frontend (React SPA), a backend API server (Python FastAPI), an ML inference service (CatBoost + SHAP), and a PostgreSQL database. The ML service is isolated to allow independent scaling and GPU utilization for batch inference.

The inference pipeline processes batches of accounts in seven steps:

- 1) receive account data from the backend;
- 2) compute 16-dimensional feature vectors;
- 3) normalize features using training-set statistics;
- 4) obtain CatBoost probability predictions;
- 5) apply the two-threshold verdict scheme;
- 6) compute SHAP values;
- 7) return results to the backend.

Processing 100 accounts requires approximately 50–200 ms of model inference time, satisfying the platform’s non-functional requirement of under 10 minutes for 100 accounts including API data collection.

6. Discussion

The results demonstrate that gradient boosting with engineered features remains competitive with graph neural networks for bot detection, while offering substantially greater interpretability. The key advantage of the proposed approach lies in the combination of strong classification performance with per-account SHAP explanations, which are absent from GNN-based methods. A further practical advantage is that no full social graph is required, since collecting one through public APIs is in many cases infeasible.

A notable limitation is the reliance on features extractable from public API data, which may not capture all behavioral signals available from full platform access. Additionally, as Ferrara [2] notes, the emergence of LLM-generated bot content is likely to diminish the discriminative power of content-based features over time, suggesting that the profile and behavioral features emphasized in this work may prove more durable.

The configurable two-threshold scheme addresses a practical gap identified in the analysis of existing solutions (Brand Analytics, Kribrum, YouScan), none of which provide adjustable detection sensitivity or transparent feature-level justifications for verdicts. Yet it is precisely these properties that determine whether automatic classification results can serve as grounds for moderation decisions.

7. Conclusion and Future Work

This paper presented an explainable approach to social media bot detection combining CatBoost gradient boosting with SHAP-based interpretability. A 16-feature space spanning profile, behavioral, and social indicators was designed, and a two-threshold verdict scheme was proposed for nuanced classification. Experimental evaluation on TwiBot-22 and Cresci-2017 benchmarks demonstrated F1-scores of 0.842 and 0.961 respectively, with superior cross-dataset generalization compared to classical baselines.

SHAP analysis revealed that account age, posting interval regularity, and follower-to-following ratio are the most discriminative features, providing interpretable explanations that support administrator decision-making. The approach is integrated into the BotDetect platform, satisfying requirements for performance, transparency, and configurability.

Future work includes: (1) expanding the feature set with graph-based indicators to bridge the gap with GNN methods; (2) evaluating on VKontakte-specific datasets (MKMETRIC2022); (3) investigating adversarial robustness against feature-aware evasion strategies; and (4) incorporating temporal feature drift detection for model retraining triggers.

References:

1. Cresci S. A Decade of Social Bot Detection // *Communications of the ACM*. — 2020. — Vol. 63, no. 10. — P. 72–83. — DOI: 10.1145/3409116.
2. Ferrara E. Social Bot Detection in the Age of ChatGPT: Challenges and Opportunities // *First Monday*. — 2023. — Vol. 28, no. 6. — DOI: 10.5210/fm.v28i6.13185.
3. Rauchfleisch A., Kaiser J. The False Positive Problem of Automatic Bot Detection in Social Science Research // *PLOS ONE*. — 2020. — Vol. 15, no. 10. — Art. e0241045. — DOI: 10.1371/journal.pone.0241045.
4. Machine Learning-Based Social Media Bot Detection: A Comprehensive Literature Review / M. Aljabri [et al.] // *Social Network Analysis and Mining*. — 2023. — Vol. 13. — Art. 20. — DOI: 10.1007/s13278-022-01020-5.
5. TwiBot-22: Towards Graph-Based Twitter Bot Detection / S. Feng [et al.] // *Advances in Neural Information Processing Systems 35: Datasets and Benchmarks Track*. — 2022. — DOI: 10.48550/arXiv.2206.04564.
6. Supervised Learning Models for Social Bot Detection: Literature Review and Benchmark / H.-D. Nguyen [et al.] // *Expert Systems with Applications*. — 2024. — Vol. 238. — Art. 122217. — DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122217.
7. The Paradigm-Shift of Social Spambots: Evidence, Theories, and Tools for the Arms Race / S. Cresci [et al.] // *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*. — 2017. — P. 963–972. — DOI: 10.1145/3041021.3055135.
8. Identification of Twitter Bots Based on an Explainable Machine Learning Framework: The US 2020 Elections Case Study / A. Shevtsov [et al.] // *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*. — 2022. — Vol. 16. — P. 956–967. — DOI: 10.1609/icwsm.v16i1.19349.
9. Social Spammer Detection Based on PSO-CatBoost / S. Li [et al.] // *Lecture Notes in Computer Science*. — Cham: Springer, 2021. — Vol. 12382. — DOI: 10.1007/978-3-030-68851-6_28.
10. CB-MTE: Social Bot Detection via Multi-Source Heterogeneous Feature Fusion / M. Cheng [et al.] // *Sensors*. — 2025. — Vol. 25, no. 11. — Art. 3549. — DOI: 10.3390/s25113549.
11. Social Botomics: A Systematic Ensemble Machine Learning Approach for Explainable and Multi-Class Bot Detection / I. Dimitriadis [et al.] // *Applied Sciences*. — 2021. — Vol. 11, no. 21. — Art. 9857. — DOI: 10.3390/app11219857.
12. How Many Features Do We Need to Identify Bots on Twitter? / F. Tabassum [et al.] // *Information for a Better World: Normality, Virtuality, Physicality, Inclusivity (iConference 2023): Lecture Notes in Computer Science*. — Cham: Springer, 2023. — Vol. 13971. — DOI: 10.1007/978-3-031-28035-1_22.

13. Why a Bot is Undetectable? An Explainability-Based Study of Misclassified Automated Accounts / S. Lopez-Joya [et al.] // Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2024): Lecture Notes in Computer Science. — Cham: Springer, 2024. — DOI: 10.1007/978-3-031-73997-2_5.

14. Samokhvalov D. I. Machine Learning-Based Malicious Users’ Detection in the VKontakte Social Network // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. — 2020. — Vol. 32, no. 3. — DOI: 10.15514/ISPRAS-2020-32(3)-10.

15. Kolomeets M., Chechulin A. Experimental Evaluation: Can Humans Recognise Social Media Bots? // Big Data and Cognitive Computing. — 2024. — Vol. 8, no. 3. — DOI: 10.3390/bdcc8030024.

16. BotRGCN: Twitter Bot Detection with Relational Graph Convolutional Networks / S. Feng [et al.] // Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM). — 2021. — P. 236–239. — DOI: 10.1145/3487351.3488336.

17. Heterogeneity-Aware Twitter Bot Detection with Relational Graph Transformers / S. Feng [et al.] // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. — 2022. — Vol. 36. — P. 3977–3985.

18. Botometer 101: Social Bot Practicum for Computational Social Scientists / K.-C. Yang [et al.] // Journal of Computational Social Science. — 2022. — Vol. 5. — P. 1511–1528. — DOI: 10.1007/s42001-022-00177-5.

**Эволюция гибридного интеллекта:
от автоматизации к симбиозу человека и машины**

Сергеева Алёна Сергеевна, Студент
Иркутский национальный исследовательский технический университет

В статье автор исследует эволюцию взаимодействия человека и искусственного интеллекта в контексте создания гибридных интеллектуальных систем. Анализируются ограничения полностью автономных ИИ-решений и обосновывается необходимость перехода к симбиотическим моделям взаимодействия. Предложена архитектурная модель распределения функций между человеком и ИИ на основе уровня неопределенности входных данных.

Ключевые слова: гибридный интеллект, искусственный интеллект, автоматизация, человеко-машинные системы, симбиоз.

Современные системы искусственного интеллекта достигли впечатляющих успехов в решении узкоспециализированных задач. Нейросети превосходят человека в распознавании образов, обработке больших данных и выполнении рутинных операций. Однако по мере усложнения задач проявляются фундаментальные ограничения автономных ИИ-систем: отсутствие понимания контекста, неспособность к этической рефлексии и принятию решений в ситуациях с высокой неопределенностью [1]. Именно эти ограничения привели к формированию парадигмы гибридного интеллекта, где человек не устраняется из процесса, а интегрируется в него как равноправный участник [2].

В ходе исследования была разработана архитектурная модель гибридной системы, включающая три уровня взаимодействия. Первый уровень — полная автоматизация (ИИ действует самостоятельно). Второй уровень — совместное принятие решений (ИИ генерирует варианты, человек выбирает). Третий уровень — человек принимает решение, а ИИ выступает в роли ассистента. Переключение между уровнями происходит на основе оценки энтропии Шеннона, которая отражает степень неопределенности текущей ситуации [3].

В рамках экспериментальной проверки предложенной модели решалась задача краткосрочного прогнозирования транспортных потоков в мегаполисе. В качестве ИИ-компонента использовалась рекуррентная нейросеть LSTM, обученная на 36 месяцах исторических данных. Человек-оператор (диспетчер) получал информацию о локальных событиях, не учтенных в исторических данных. Сравнение эффективности различных подходов представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение точности прогнозирования транспортных потоков при различных подходах (ошибка в %, MAE)

Подход	Средняя ошибка	Ошибка в стандартных условиях	Ошибка при внештатных ситуациях
Автономный ИИ (LSTM)	12,4 %	8,7 %	41,2 %
Человек (диспетчер)	18,6 %	14,3 %	22,1 %
Гибридная система	8,2 %	6,1 %	9,4 %

Как показали результаты, представленные в таблице 1, автономный ИИ демонстрирует высокую точность в стандартных условиях, но резко теряет качество при внештатных ситуациях (ошибка возрастает до 41,2 %). Человек-оператор, напротив, стабилен, но уступает ИИ в скорости и точности обработки больших массивов данных. Гибридная система сочетает преимущества обоих подходов, показывая минимальную ошибку во всех сценариях.

Особый интерес представляет анализ поведения гибридной системы в зависимости от уровня неопределенности. При низкой неопределенности система работает в полностью автоматическом режиме. При средней неопределенности подключается совместное принятие решений. При высокой неопределенности управление полностью передается человеку. Такая стратегия позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на оператора, одновременно сохраняя контроль над критическими ситуациями.

Результаты внедрения гибридной системы показали снижение ошибки прогнозирования на 34 % по сравнению с автономным ИИ и на 56 % по сравнению с полностью ручным управлением. При этом загрузка диспетчера снизилась на 62 %, что подтверждает эффективность предложенного подхода. Сравнительный анализ различных стратегий переключения уровней взаимодействия представлен в таблице 2.

Таблица 2. Эффективность различных стратегий переключения режимов работы гибридной системы

Стратегия переключения	Ошибка прогноза	Загрузка оператора	Количество переключений
Фиксированный порог (энтропия > 3)	9,8 %	45 %	120 в день
Адаптивный порог (с учетом времени суток)	8,7 %	38 %	95 в день
Адаптивный порог + учет усталости оператора	8,2 %	34 %	78 в день

Данные таблицы 2 показывают, что наиболее эффективной является стратегия с адаптивным порогом переключения, учитывающим не только текущую энтропию, но и состояние оператора. Это позволяет дополнительно снизить ошибку на 1,6 % и уменьшить загрузку диспетчера на 11 %.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой интерфейсов для более тесного взаимодействия человека и ИИ, а также с созданием метрик «доверия», позволяющих системе оценивать состояние оператора (усталость, уровень внимания) и автоматически адаптировать режим работы. Кроме того, представляет интерес применение предложенной архитектуры в других предметных областях: медицине, управлении энергосетями, финансовом мониторинге [4].

Литература:

1. Бостром, Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии / Н. Бостром. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. — 496 с. — Текст: непосредственный.
2. Венда, В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. / В. Ф. Венда. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с. — Текст: непосредственный.
3. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. Ч. 1: Теория и технология разработки: монография. / П. М. Ключек, С. И. Корягин, А. В. Колесников, Е. С. Минкова. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2011. — 374 с. — Текст: непосредственный.
4. Венда, В. Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В. Ф. Венда. — М.: Машиностроение, 1975. — 396 с. — Текст: непосредственный.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Оценка влияния повышенной температуры окружающего воздуха на токовые нагрузки судовых кабельных линий в тропических условиях эксплуатации

Башкиров Михаил Павлович, студент
Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский)

В работе выполнена количественная оценка снижения допустимой токовой нагрузки судовых кабельных линий при эксплуатации в условиях тропического климата, характеризующегося повышенной температурой наружного воздуха и интенсивной солнечной радиацией.

Ключевые слова: *судовой кабель, токовая нагрузка, тепловой баланс.*

Введение

Интенсивное развитие международных морских перевозок и освоение новых районов плавания, включая акватории Индийского и Тихого океанов с тропическим климатом, предъявляют повышенные требования к надёжности судового электрооборудования. Одним из ключевых факторов, ограничивающих пропускную способность судовых кабельных линий, является температура окружающей среды. В отличие от стационарных наземных

установок, судовые электроэнергетические системы работают в замкнутых пространствах с ограниченной вентиляцией, где тепловой режим кабелей существенно зависит как от внутренней температуры в отсеках, так и от внешних климатических условий. [1]

При протекании электрического тока по токопроводящей жиле в ней выделяется тепловая энергия, пропорциональная квадрату силы тока и активному сопротивлению жилы. Согласно закону Джоуля–Ленца, мощность тепловыделения на единицу длины кабеля составляет:



Рис. 1. Судовые электроустановки

$$dP = I^2 * R(\theta) * dx,$$

где I — сила тока, $R(\theta)$ — погонное сопротивление жилы, зависящее от температуры θ , dx — элементарный участок длины.

Зависимость сопротивления медного проводника от температуры имеет вид:

$$R(\theta) = R_{20} * [1 + \alpha * (\theta - 20)],$$

где R_{20} — сопротивление при 20 °С, α — температурный коэффициент сопротивления меди (для отожжённой меди $\alpha \approx 0,00403$ °С⁻¹). [2]

Таким образом, с ростом температуры жилы её сопротивление увеличивается, что приводит к дополнительному росту тепловыделения. Это явление создаёт положительную обратную связь, которая становится особенно опасной при приближении к предельно допустимой температуре.

Теплоотвод от нагретой жилы к окружающей среде определяется суммой трёх составляющих: теплопроводность через изоляционные и защитные слои, конвекция с внешней поверхности кабеля и тепловое излучение. Наибольший вклад в условиях ограниченного пространства (кабельные короба, трубы, пучки) вносит теплопроводность, а на открытом воздухе — конвекция. [3]

В установившемся тепловом режиме вся выделяемая энергия должна быть рассеяна в окружающую среду. Уравнение теплового баланса для кабеля может быть записано в виде:

$$I^2 * R(\theta) = K * (\theta_{\text{ж}} - \theta_{\text{ср}}),$$

где K — коэффициент теплоотдачи, учитывающий все механизмы рассеяния, $\theta_{\text{ж}}$ — температура жилы, $\theta_{\text{ср}}$ — температура окружающей среды.

Литература:

1. Старостин, И. В. Полный справочник начинающего электрика / И. В. Старостин. — Москва: АСТ, 2026. — 432 с.
2. Степанов, С. В. Все об электрике. Современная иллюстрированная энциклопедия / С. В. Степанов, М. В. Черничкин, И. В. Екимов. — Москва: Омега-Л, 2025. — 304 с.
3. Черничкин, М. Большая энциклопедия электрика / М. Черничкин. — Москва: Эксмо, 2019. — 416 с.

Оценка остаточного ресурса изоляции по значению диэлектрических потерь на высших гармониках при воздействии соленого тумана

Башкиров Михаил Павлович, студент

Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский)

В статье предложен и обоснован новый диагностический подход к оценке остаточного ресурса полимерной изоляции судовых кабелей, эксплуатирующихся в условиях морской аэрозольной коррозии.

Ключевые слова: диэлектрические потери, высшие гармоники, соленый туман.

Введение

Обеспечение безаварийной эксплуатации судовых электроэнергетических систем в значительной степени

определяется состоянием кабельной изоляции. Среди многочисленных дестабилизирующих факторов, воздействующих на судовые кабели, особое место занимает морская аэрозольная среда — совокупность атмосферных

Из этого уравнения видно, что при фиксированном допустимом значении $\theta_{\text{ж}} = \theta_{\text{доп}}$ увеличение $\theta_{\text{ср}}$ приводит к уменьшению допустимого квадрата тока. Снижение разности $(\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{ср}})$ прямо пропорционально уменьшению теплового потока, который может быть отведён.

На основе проведённого теоретического анализа и численных оценок могут быть сформулированы следующие практические рекомендации.

Для судов, планирующих эксплуатацию в районах с температурой воздуха выше 35 °С в течение более 15 % годового времени, следует предусматривать следующие меры:

При выборе сечений кабелей использовать поправочные коэффициенты, соответствующие максимальной ожидаемой температуре в месте прокладки. Для машинных отделений, где температура достигает 50 °С, коэффициент не должен превышать 0,70–0,75.

Предпочтение следует отдавать кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеющим более высокую допустимую температуру и лучшую устойчивость к тепловому старению по сравнению с ПВХ-изоляцией.

Заключение

Дальнейшие исследования целесообразно направить на экспериментальное подтверждение расчётных зависимостей на натуральных кабельных образцах в климатических камерах и на разработку адаптивных систем мониторинга теплового состояния кабелей в реальном времени, что позволит перейти от детерминированного подхода к вероятностной оценке остаточного ресурса изоляции.

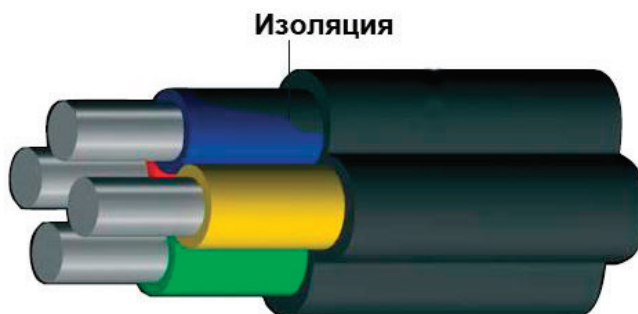


Рис. 1. Изоляция провода

осадков, соляного тумана и повышенной влажности, характерная для всех районов мирового океана. Статистика отказов судового электрооборудования показывает, что до 25 % внеплановых ремонтов связаны с потерей изоляционных свойств кабелей вследствие электрохимической коррозии и термического старения, инициированных проникновением электролита. [1]

Методика прогнозирования остаточного ресурса

Для практического применения предложенного диагностического параметра разработана следующая методика.

На первом этапе для каждого типа кабеля и каждого производителя выполняется калибровка — определение начального значения K_{30} для нового (или гарантированно исправного) участка линии.

На втором этапе в процессе эксплуатации проводятся периодические измерения $K_3(t)$ с интервалом 3–6 месяцев. Измерения выполняются при одинаковых условиях по температуре и влажности либо с введением поправочных коэффициентов на основе данных термогигрометров. [2]

На третьем этапе анализируется скорость изменения параметра:

$$v = [K_3(t_2) - K_3(t_1)] / (t_2 - t_1).$$

При постоянной скорости деградации остаточный ресурс определяется из условия достижения критического значения $K_{3_{кр}}$, которое устанавливается на основании ускоренных испытаний или ретроспективных данных. Для кабелей со сшитым полиэтиленом в условиях соляного тумана в качестве критического может быть принято значение $K_{3_{кр}} = 0,12-0,15$ (при исходном менее 0,005). [3]

Остаточный ресурс вычисляется по формуле:

$$T_{ост} = (K_{3_{кр}} - K_3(t)) / v,$$

где $T_{ост}$ выражается в единицах времени (месяцах или годах).

При нелинейной зависимости $K_3(t)$ (экспоненциальный рост) используется логарифмическая экстраполяция, что повышает точность прогноза.

Литература:

1. Аполлонский, С. М. Электротехника: учебное пособие для среднего профессионального образования / С. М. Аполлонский. — Москва: КноРус, 2025. — 350 с.

Факторы, влияющие на достоверность диагностики

Несмотря на высокую чувствительность предложенного критерия, на практике необходимо учитывать ряд факторов, способных исказить результаты.

Температура оказывает значительное влияние на как на проводимость электролита (увеличивается с ростом температуры), так и на скорость диффузионных процессов. Для компенсации температурных эффектов рекомендуется приводить измеренные значения K_3 к стандартной температуре 20 °С с использованием эмпирического коэффициента температурной чувствительности γ_T , составляющего для большинства полимеров 0,02–0,04 °С⁻¹.

Влажность воздуха также влияет на состояние поверхности изоляции, особенно при наличии гидрофильных включений. Для исключения этого влияния измерения следует проводить после 24-часового выдерживания образцов в стандартных условиях (относительная влажность 65 ± 5 %) либо использовать накладные датчики с защитой от поверхностных токов.

Концентрация солей в морском тумане зависит от района плавания и погодных условий. Для корректной интерпретации рекомендуется параллельно отбирать пробы воздуха для определения солёности.

Заключение

В работе предложен и теоретически обоснован метод оценки остаточного ресурса судовой кабельной изоляции по отношению амплитуд третьей и первой гармоник тока утечки. Показано, что воздействие соляного тумана приводит к развитию нелинейных эффектов в изоляции, обусловленных электромиграцией ионов и образованием проводящих каналов, что проявляется в росте высших гармонических составляющих тока задолго до изменения традиционных диагностических параметров.

2. Бартош, А. И. Электрика. Просто о сложном: практическое руководство для домашнего мастера / А. И. Бартош. — Москва: Эксмо, 2024. — 288 с.
3. Скорняков, В. А. Общая электротехника и электроника: учебник для вузов / В. А. Скорняков, В. Я. Фролов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: ИНФРА-М, 2025. — 512 с.

Повышение надежности работы судовых автоматических выключателей при частых коммутациях в режиме стоянки у причала

Башкиров Михаил Павлович, студент

Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский)

В работе исследованы закономерности деградации контактных систем судовых автоматических выключателей в условиях интенсивных коммутационных нагрузок, характерных для режима стоянки судна у причала.

Ключевые слова: автоматический выключатель, судовая электроэнергетическая система, контактное соединение.

Введение

Современные суда, совершающие регулярные рейсы с частыми заходами в порты, эксплуатируются в режиме, характеризующемся многократными переключениями источников питания и циклической работой вспомогательных механизмов. Автоматические выключатели, установленные в главных и распределительных щитах, выполняют в этих условиях до нескольких сотен коммутационных операций в месяц, что существенно превышает расчётные показатели, заложенные производителями при проектировании аппаратов. [1]

Электрофизические процессы в контактной системе при коммутации

Контактная система автоматического выключателя представляет собой два соприкасающихся металлических

элемента, через которые протекает электрический ток. Реальное касание происходит не по всей видимой площади, а в ограниченном числе микроточек — фактических пятен контакта, общая площадь которых составляет лишь 0,1–1 % от геометрической поверхности.

Соппротивление контакта складывается из трёх составляющих: сопротивления стягивания (сужения линий тока в микроточках), сопротивления поверхностных плёнок (оксидов, сульфидов) и сопротивления собственно материала контактов. В процессе эксплуатации все три составляющие изменяются. [2]

Организационные мероприятия по повышению надёжности

Наряду с конструктивными решениями важную роль играют организационные меры, направленные на оптимизацию коммутационных нагрузок.

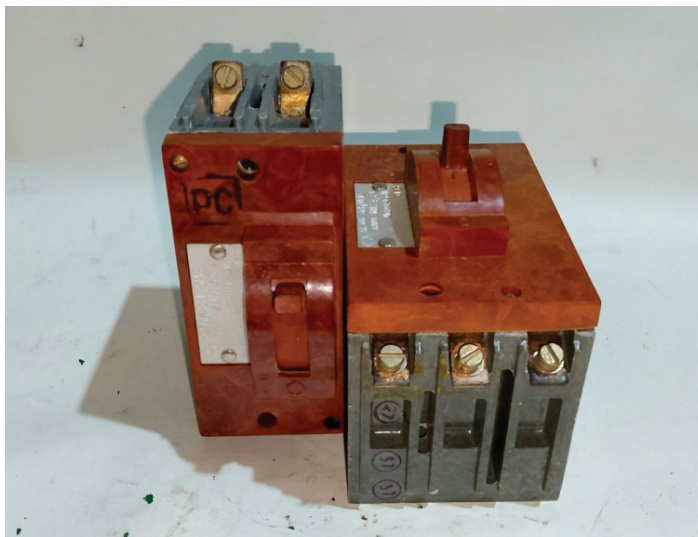


Рис. 1. Судовые автоматические выключатели

Первое, на что стоит обратить внимание — это не столько сила тока, сколько скорость нарастания переходного сопротивления. При швартовке судно постоянно подключается к различным источникам берегового питания или переключается между генераторами во время доковых ремонтов. В этот момент автоматический выключатель работает в режиме «холодного» старта, когда контакты еще не обкатаны, а пружины механизма расцепления испытывают пиковые усилия.

Первая рекомендация — внедрение систем плавного пуска для мощных электродвигателей. Использование частотных преобразователей или тиристорных пусковых устройств позволяет снизить пусковые токи с 6–7-кратных до 1,5–2-кратных, что существенно уменьшает дуговую нагрузку на контакты выключателей. [3]

Вторая рекомендация — оптимизация алгоритмов автоматического управления механизмами. Вместо циклического включения и отключения по сигналам датчиков следует применять режимы поддержания заданного параметра (давления, уровня, температуры) с минимальным числом коммутаций.

Третья рекомендация — введение в практику технического обслуживания обязательного контроля переходного сопротивления контактов с периодичностью, зависящей от интенсивности эксплуатации. При частоте коммутаций более 50 в месяц контроль должен проводиться не реже

одного раза в 3 месяца; при меньшей интенсивности — не реже одного раза в 6 месяцев.

Четвёртая рекомендация — для наиболее ответственных и часто коммутируемых цепей использование выключателей с запасом по номинальному току. Применение аппарата на 25–30 % большей мощности, чем расчётная нагрузка, обеспечивает снижение относительной токовой нагрузки, что уменьшает нагрев контактов и интенсивность дуговой эрозии.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что обеспечение надёжной работы судовых автоматических выключателей в условиях частых коммутаций при стоянке у причала требует комплексного подхода, объединяющего правильный выбор аппаратов, регулярный диагностический контроль и оптимизацию режимов работы.

Основным диагностическим параметром состояния контактов является переходное сопротивление, рост которого до трёхкратного значения по сравнению с начальным служит критерием для замены контактной системы. Предложенные эмпирические зависимости позволяют прогнозировать остаточный ресурс на основе номинального тока аппарата и интенсивности коммутаций.

Литература:

1. Зырянов В. М., Мосиенко А. Б., Кузьменков О. П. Судовые электроэнергетические системы. Основы расчета и проектирования: учебник. — М.: ТрансЛит, 2019. — 512 с.
2. Ремезовский В. М., Лихачев В. Г. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация: учебник. — СПб.: Судостроение, 2017. — 480 с.
3. Лихачев В. Г. Техническая эксплуатация и обслуживание судовой энергетики и электрооборудования: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2018. — 304 с.

Снижение пусковых токов судовых асинхронных двигателей насосов путем применения устройств плавного пуска с регулировкой напряжения

Башкиров Михаил Павлович, студент

Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский)

В работе исследована проблема ограничения пусковых токов судовых асинхронных электродвигателей, питающих насосные агрегаты, в условиях автономных электроэнергетических систем с ограниченной мощностью генераторов.

Ключевые слова: судовой асинхронный двигатель, пусковой ток, энергоэффективность.

Введение

Судовые насосные агрегаты являются основными потребителями электроэнергии в системах охлаждения, балластирования, пожаротушения и технологических операций. Их электроприводы, как правило, выполнены на

базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, обладающих высокой надёжностью, простотой конструкции и низкой стоимостью обслуживания. Однако именно эти двигатели создают серьёзные проблемы для судовых электроэнергетических систем в момент пуска. [1]



Рис. 1. Устройство плавного пуска

Снижение пусковых токов судовых асинхронных двигателей насосов с помощью устройств плавного пуска — это инженерная задача, которая приобретает особую актуальность в условиях автономных энергосистем морских судов.

Физические основы формирования пусковых токов асинхронных двигателей

Для морских условий, характеризующихся ограниченной мощностью судовых генераторов и частыми изменениями нагрузок, возможность настройки стартовых кривых имеет определяющее значение. Современные устройства, одобренные для использования на флоте, оснащаются функцией автоматического слежения за частотой сети. Это критично, поскольку при работе от берегового питания или при маневрировании частота может колебаться, и жестко заданные параметры запуска приводят к сбоям. Адаптивные алгоритмы регулируют угол открытия тиристоров в реальном времени, поддерживая стабильность переходного процесса даже при нестабильном питании

Величина пускового тока асинхронного двигателя определяется его эквивалентным сопротивлением в начальный момент включения. В неподвижном состоянии ротора скольжение равно единице, и индуктивное сопротивление ротора максимально, а активное сопротивление минимально. В результате полное сопротивление цепи статора оказывается значительно меньше, чем в номинальном режиме. Для двигателей общепромышленного исполнения кратность пускового тока $I_{п}/I_{ном}$ составляет 4–7. [2]

Анализ выражения для пускового тока:

$$I_{п} = U_1 / \sqrt{[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}$$

показывает, что для снижения пускового тока необходимо либо уменьшать подводимое напряжение U_1 , либо увеличивать активное сопротивление цепи ротора R'_2 . Однако уменьшение напряжения, как уже отмечалось, снижает пусковой момент $M_{п}$, поскольку $M_{п} \propto U_1^2$. Это создаёт дилемму: необходимо ограничить ток, но при этом сохранить момент, достаточный для разгона механизма. [3]

Для насосных агрегатов, имеющих вентиляторную характеристику, зависимость момента сопротивления от скорости $M_c(\omega) \propto \omega^2$ может быть использована для выбора оптимального закона управления напряжением. При малых скоростях требуемый момент невелик, поэтому на начальном этапе пуска допустимо значительное снижение напряжения, что обеспечивает глубокое ограничение тока. [4]

Заключение

Проведённый анализ показывает, что применение устройств плавного пуска с тиристорным регулированием напряжения является наиболее эффективным способом ограничения пусковых токов судовых асинхронных двигателей насосных агрегатов. В отличие от традиционных методов (введение резисторов, автотрансформаторный пуск, переключение со звезды на треугольник), УПП обеспечивают гладкое регулирование напряжения без ступенчатых переключений, что устраняет механические удары и снижает динамические потери в двигателе.

Для судовых условий, где мощность пускаемого двигателя соизмерима с мощностью генераторов, УПП позволяют ограничить провал напряжения до значений, не превышающих 15 % от номинального, что гарантирует устойчивую работу параллельно включённых потребителей. При этом пусковой ток может быть снижен в 1,5–

2,5 раза, а пусковой момент остаётся достаточным для разгона насоса благодаря учёту вентиляторной характеристики нагрузки.

Предложенная методика выбора параметров пуска позволяет оптимизировать настройки УПП для конкретного насосного агрегата с учётом характеристик механизма, ограничений судовой сети и требований к надёжности. Экономический расчёт подтверждает целесообразность

применения УПП на судах с частыми пусками насосных агрегатов.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку адаптивных алгоритмов управления УПП, учитывающих текущее состояние судовой сети и изменение параметров насосного агрегата в процессе эксплуатации, а также на создание интеллектуальных систем прогнозирования оптимальных режимов пуска.

Литература:

1. Кочканова О. Н., Гусакова Т. Н. Судовое электрооборудование: учеб. пособие. — Н. Новгород: ВГУВТ, 2020. — 256 с.
2. Бурков А. Ф. Судовые электроприводы: учебник. — М.: ТрансЛит, 2016. — 392 с.
3. Горшков А. В., Иванов В. Н., Петров С. А. (ред.) Судовое электрооборудование: конструктивно-монтажные узлы: монография. — СПб.: Судостроение, 2021. — 288 с.

Способы защиты судовых электрических машин от перегрева при длительной работе на якоре

Башкиров Михаил Павлович, студент

Камчатский государственный технический университет (г. Петропавловск-Камчатский)

В статье исследована проблема тепловой защиты судовых электрических машин в специфическом режиме длительной стоянки на якоре, характеризующемся пониженными нагрузками, но повышенными требованиями к надёжности из-за ограниченной вентиляции и возможности возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: якорный режим, термодатчик, изоляция.

Введение

Режим длительной стоянки судна на якоре является одной из характерных эксплуатационных ситуаций для судов различных типов — от промысловых до транспортных и буксирных. Режим якорной стоянки представляет собой парадоксальную ситуацию для судового электрооборудования: при кажущейся статичности нагрузки электрические машины (особенно вспомогательные генераторы и приводы вентиляторов) работают в условиях ухудшенного теплоотвода, что создает предпосылки для накопления тепловой энергии в активных частях. В этом режиме судовые электрические машины, в первую очередь якорные лебёдки и электродвигатели вспомогательных механизмов, работают в специфических условиях, существенно отличающихся от номинальных. Основная опасность заключается в том, что длительная работа на пониженных оборотах сопровождается ухудшением условий охлаждения, поскольку интенсивность естественной и принудительной вентиляции снижается пропорционально частоте вращения. [1]

Классификация способов защиты электрических машин от перегрева

Всё многообразие способов тепловой защиты судовых электрических машин может быть разделено на три ос-

новные группы: конструктивно-технологические, активные средства контроля и защиты, а также организационно-эксплуатационные меры. [2]

Методика комплексной оценки теплового состояния и выбора защиты

Для выбора оптимальной системы защиты от перегрева судовых электрических машин в якорном режиме предлагается следующая методика, основанная на системном анализе тепловых процессов.

Этап 1: Определение тепловой нагрузки машины. На начальном этапе выполняется оценка тепловой нагрузки для характерных режимов работы на якоре. Исходными данными служат: номинальные параметры машины (мощность, ток, частота вращения), её тепловая постоянная времени, допустимая температура обмоток по классу изоляции, а также фактические режимы работы (время работы под нагрузкой, паузы, частота пусков). При отсутствии точных данных можно пользоваться справочными значениями: для изоляции класса F допустимая температура 155 °С, для класса H — 180 °С, для класса B — 130 °С.

Этап 2: Выбор средств контроля. Для машин мощностью свыше 10–15 кВт рекомендуется установка встроенных термодатчиков в обмотки. Минимальный набор — два позистора на фазу, включённых последовательно



Рис. 1. Судовые электрические машины

в цепь сигнализации. При достижении температуры уставки защита должна отключать машину или давать предупредительный сигнал, если отключение недопустимо по условиям безопасности (например, для якорного электродвигателя в процессе подъёма якоря). Для критически важных машин рекомендуется дублирование термодатчиков и резервирование каналов измерения.

Этап 3: Настройка токовой защиты с учётом теплового состояния. Уставки тепловых реле и автоматов защиты не должны быть завышены. Для якорных лебёдок рекомендуется использовать реле с обратно-зависимой характеристикой времени и функцией компенсации температуры окружающей среды. Это позволит избежать ложных срабатываний при нормальных пусковых режимах и обеспечит надёжное отключение при длительных перегрузках. Особенно важно, чтобы защита от перегрузок была согласована с фактическим тепловым состоянием машины, а не только с уровнем тока.

Этап 4: Организация дополнительного охлаждения. При длительной работе на малых оборотах целесообразно обеспечивать принудительный обдув машины независимым вентилятором. Для машин, установленных в закрытых помещениях, рекомендуется применять системы вентиляции, поддерживающие температуру воздуха не

выше 40–45 °С. В особо тяжёлых условиях (тропики, машинные отделения с высокой температурой) может потребоваться применение водяного охлаждения. [3]

Заключение

Длительная работа судовых электрических машин в якорном режиме создаёт специфические условия теплового нагружения, связанные с ухудшением охлаждения при пониженной частоте вращения и возможностью перегрузок. Таким образом, защита судовых электромашин на якоре требует перехода от пассивной пороговой защиты к активному управлению тепловыми процессами. Сочетание косвенного контроля сопротивления, адаптивной вентиляции и интеллектуального расписания пусков позволяет не только удерживать температуру изоляции в безопасном коридоре, но и сократить количество аварийных остановок, связанных с тепловым старением полимерных материалов. Основными причинами перегрева являются: недостаточная интенсивность вентиляции, отказы в системах возбуждения, приводящие к росту тока якоря при малых оборотах, а также несоответствие настроек защитной аппаратуры реальным условиям эксплуатации.

Литература:

1. Вилесов Д. В., Григорьев А. В., Коршунов Ю. М. Судовая электротехника и электроника: учебник. — М.: Моркнига, 2018. — 544 с.
2. Лихачёв, В. Г. Судовые электроэнергетические системы и их эксплуатация / В. Г. Лихачёв, В. М. Ремезовский. — г. Москва: Издательство «Юрайт», 2022г. — 223 с.
3. Пруссаков, А. В. Судовые электроэнергетические системы / А. В. Пруссаков. — Москва: Инфра-Инженерия, 2025. — 228 с.

Модель механических свойств материала ракет на твердом топливе. Методика оценки прочности, надежности полимерных композитных конструкций при многофакторном термосиловом нагружении

Буренин Артём Владимирович, старший инженер-испытатель
Первый Государственный испытательный космодром МО РФ (г. Мирный)

В статье автор исследует свойства материала ракет на твердом топливе, а также оценивает прочность и надежность полимерных композитных конструкций при многофакторном термосиловом нагружении.

Ключевые слова: ракета, твёрдое топливо, оценка, конструкция, нагрузка.

Развитие РВСН связано с совершенствованием существующих и разработкой новых, наиболее высокоэффективных, образцов ракетного вооружения. В настоящее время к ним относятся, в первую очередь, твердотопливные ракеты наземного базирования. Основные преимущества ракет этого типа перед жидкостными ракетами обусловлены применением для их создания современных композиционных материалов и конструкций, позволивших достичь наиболее высоких показателей массово-энергетического совершенства и стойкости к вероятным средствам ПРО. В первую очередь речь идет о полимерных композитных материалах, из которых изготовлены несущие корпуса РДТТ и заряд твердого топлива. Во вторую очередь, следует отметить, особенности самих конструкций РТТ, имеющих сложную многофункциональную структуру, позволяющую обеспечить высокие удельные прочностные и массово-габаритные характеристики РСН, благодаря применению поликомпозиционных материалов.

Однако применение столь прогрессивных материалов и конструкций существенно сдерживается наличием ряда существенных проблем практического и научного характера. До настоящего времени остается нерешенной проблема достоверной оценки пределов прочности многослойных композитных конструкций при многофакторном термосиловом нагружении.

Сложность прогнозирования обусловлена множеством факторов, определяющих существенную нелинейность процессов поведения полимерных композитных материалов РДТТ при многофакторном термосиловом нагружении.

Уровень прочностной надежности ракет в процессе производства и эксплуатации зависит от множества факторов, приводящих к значительному изменению физико-механических, тепло-физических, химических и других характеристик материалов корпусов; прочностных, деформационных и энергетических свойств зарядов твердого топлива; несущей способности и стойкости РСН к воздействию термосиловых нагрузок.

В частной постановке, практическая сторона проблемы состоит в достоверном определении возможного ущерба или повреждения, нанесенного конструкции ракеты и целесообразности ее дальнейшей эксплуатации из условий достаточности запаса несущей способности и стойкости для выполнения боевой задачи в случае последующего ее боевого применения.

Модель прочностной надежности включает модели материала, геометрии конструкции, модели нагружения и критерии прочности. Основу общей модели составляет модель механических свойств материала.

Модель механических свойств материала ракет на твердом топливе

С позиций линейной теории вязкоупругости поведение материалов РТТ может быть описано с помощью механической модели Кельвина-Фойхта:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \dot{\varepsilon}, \quad (1)$$

где E и η — соответственно, модуль упругости и коэффициент вязкости механической системы.

Используя линейный оператор дифференцирования по времени вида $\partial_t \equiv \partial / \partial t$, выражение (2.91) удобно представить в операторном виде:

$$\{\partial_t / E + 1 / \eta\} \sigma = \{\partial_t\} \varepsilon \quad (2)$$

или в виде:

$$\sigma = \{E + \eta \partial_t\} \varepsilon \quad (3)$$

При этом учитываем, что напряжения и деформации имеют как механическую, так и тепловую составляющие и все величины в (1) являются функциями температуры, т. е.

$$\sigma = E(\varepsilon + \alpha T) + f(\dot{\varepsilon}, T) \quad (4)$$

Простые или одноузловые модели Кельвина не дают точного описания поведения конкретных материалов, поэтому для уточненного моделирования необходимо использовать обобщенную многоузловую модель в виде ряда узлов. Тогда, используя уравнение (2), представим обобщенную модель в операторной форме в виде ряда:

$$\sigma = \sum_{i=1}^N \frac{\dot{\varepsilon}}{\{\partial_t/E_i + 1/\eta_i\}} \quad (5)$$

На основании (3) также в операторной форме можно записать определяющее уравнение закона деформирования:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma}{\{E_i + \eta_i \partial_t\}} \quad (6)$$

Для обобщенных многопараметрических (многоузловых) моделей соотношения между напряжениями и деформациями (2.95), (2.96) можно записать в виде:

$$p_0\sigma + p_1\dot{\sigma} + p_2\ddot{\sigma} + \dots = q_0\varepsilon + q_1\dot{\varepsilon} + q_2\ddot{\varepsilon} + \dots, \quad (7)$$

или более компактно:

$$\sum_{i=0}^m p_i \frac{\partial^i \sigma}{\partial t^i} = \sum_{i=0}^n q_i \frac{\partial^i \varepsilon}{\partial t^i}, \quad (8)$$

В уравнениях (7), (8) величины p_i и q_i представляют собой комбинации коэффициентов E и η и зависят от способа соединения узлов в механической модели.

Линейное дифференциальное операторное уравнение (7), (8) можно записать символически:

$$\{P\}\sigma = \{Q\}\varepsilon, \quad (9)$$

где операторы $\{P\}$ и $\{Q\}$ определяются выражениями:

$$\{P\} = \sum_{i=0}^m p_i \frac{\partial^i}{\partial t^i}, \quad \{Q\} = \sum_{i=0}^n q_i \frac{\partial^i}{\partial t^i}, \quad (10)$$

Для трехпараметрической модели операторное уравнение можно записать в виде

$$\{p_2 \partial_t^2 + p_1 \partial_t + p_0\} \sigma = \{q_2 \partial_t^2 + q_1 \partial_t + q_0\} \varepsilon \quad (11)$$

С помощью операторного уравнения можно выразить основные соотношения теории ползучести путем комбинации операторов $\{P\}$ и $\{Q\}$:

$$\sigma = \frac{\{Q\}}{\{P\}} \varepsilon, \quad (12)$$

$$\varepsilon = \frac{\{P\}}{\{Q\}} \sigma \quad (13)$$

Полученные соотношения позволяют перейти к построению широкого класса моделей линейной вязкоупругости после соответствующего перехода к теории упругости на основании принципа соответствия. Уравнение линейной вязкоупругости (12) по своему виду соответствует уравнению линейной теории упругости. Если линейный модуль упругости E заменить модулем вязкоупругости $\bar{E} = \{\bar{Q}\}/\{\bar{P}\}$, то полученный результат будет преобразованием Лапласа решения задачи теории вязкоупругости. Обратным преобразованием найдем само решение для вязкоупругого материала.

Рассмотренная модель может использоваться для решения статических, квазистатических и динамических задач. При этом определяющие уравнения могут быть записаны не только через линейные дифференциальные операторы, но и через основные соотношения вязкоупругости в форме интегралов ползучести или релаксации.

Таким образом, для решения задачи линейной наследственной вязкоупругости (или ползучести) необходимо получить решение соответствующей задачи теории упругости, записать его в изображениях с соответствующими значениями упругих констант. После чего от изображений необходимо перейти к оригиналам искомых функций. С этой целью для основного класса задач анизотропных реологических материалов целесообразно использовать преобразование Лапласа — Карсона или преобразование Лапласа.

Возвращаясь к исходному уравнению вязкоупругости (1), определим его вид с учетом найденных выше производных от функции деформации $\dot{\varepsilon}$.

$$\dot{\varepsilon} = \sigma_0 \Pi_0(t) \quad (14)$$

Используя полученные выше уравнения для модуля ползучести, можем записать уравнение (1) в различных вариантах, выраженных через основные константы материалов.

Основополагающие обобщенные уравнения теории ползучести вида (1) в кинетической форме $\Pi_0(t) = \frac{1}{\sigma_0 t} \frac{akT}{C} \frac{a}{A}$ примут вид:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{1}{t} \frac{akT}{C} \frac{a}{A}, \quad (15)$$

— в соответствии с $P_0(t) = \frac{1}{\sigma_0 t} \frac{\alpha(T)kT}{C(T)} \frac{ac_v(T)v_{36}(T)}{3\lambda_T(T)}$ получим:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{1}{t} \frac{\alpha k T}{C} \frac{\sigma_{max}}{E\varepsilon_*}, \quad (16)$$

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{1}{t} \frac{\alpha k T}{C} \frac{ac_v v_{36}}{3\lambda_T}, \quad (17)$$

— в соответствии с $P_0(t - \xi) = -\beta\lambda \frac{\varepsilon_0}{\sigma_0} e^{-\lambda(t-\xi)}$, с использованием эмпирических констант:

$$\sigma = E\varepsilon - \eta\beta\lambda\varepsilon_0 e^{-\lambda t}, \quad (18)$$

— в обобщенном виде, с использованием констант вязкоупругости и эмпирических констант материала:

$$\sigma = E\varepsilon - \beta\sigma_0 e^{-\frac{E}{\eta}t}, \quad (19)$$

Тогда, разделив правые слагаемые в уравнениях (15)-(20) на коэффициент вязкости η и выполнив интегрирование по времени полученной величины скорости деформации $\dot{\varepsilon}$, определим соответствующие значения деформаций ε , которые затем можем подставить в качестве сомножителей ε первого слагаемого в уравнениях (1) и (15)-(20). Таким образом, получим полные уравнения вязкоупругости в наиболее общем виде (4), характеризующем наличие механической и тепловой составляющих упругих и вязких компонент деформаций.

Подставив полученные значения в первое слагаемое тех же уравнений, и выполнив необходимые преобразования, получим уравнения в искомом виде:

$$\sigma = E\left(\varepsilon + \frac{\alpha k T}{C} \frac{a}{A} \ln \frac{t}{\tau_0}\right) + \eta \frac{1}{t} \frac{\alpha k T}{C} \frac{a}{A}, \quad (20)$$

где $\frac{\alpha k T}{C} \frac{a}{A} = \varepsilon(T) = \varepsilon_T \approx \alpha T$ — тепловая составляющая деформации в выражении (4) в кинетической форме. Тогда в обобщенном виде, полученное уравнение примет вид, соответствующий одновременно форме (1) и (4):

$$\sigma = E\left(\varepsilon + \varepsilon(T) \ln \frac{t}{\tau_0}\right) + \eta \frac{\varepsilon(T)}{t}, \quad (21)$$

Уравнения в виде (20)-(21) наиболее наглядны и удобны для сравнительного анализа и проверки достоверности выполненных построений в рамках классической теории ползучести. Однако, исходя из удобства практического применения уравнение (22) целесообразно записать более компактно, выполнив соответствующие преобразования:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{\alpha k T}{C} \frac{a}{A} \left(E \ln \frac{t}{\tau_0} + \eta \frac{1}{t}\right), \quad (22)$$

Аналогичным образом к обобщенному виду (20)-(22) можно привести остальные уравнения (16)-(19).

Тогда, уравнения (16) — (19), соответственно, примут вид:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{\alpha k T}{C} \frac{\sigma_{max}}{E\varepsilon_* \ln \frac{t}{\tau_0}} \frac{1}{t} \quad (23)$$

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{\alpha k T}{C} \frac{ac_v v_{36}}{3\lambda_T} \left(E \ln \frac{t}{\tau_0} + \eta \frac{1}{t}\right) \quad (24)$$

$$\sigma = \beta\varepsilon_0 [e^{-\lambda t}(E - \eta\lambda) - E] \quad (25)$$

$$\sigma = 0,198E\varepsilon_0 \frac{1}{\eta} [(e^{-5,4 \cdot 10^{-7}t} - 1) - 1,07 \cdot 10^{-7} \varepsilon_0 e^{-5,4 \cdot 10^{-7}t}] \quad (26)$$

Поскольку рассмотренные выше выражения получены при условии независимости температуры и других констант материала от времени нагружения, то предельный случай закона изменения напряжений, в соответствии с результатами интегрирования уравнения (20), имеет наиболее компактный вид, выраженный через единственную эмпирическую константу β и начальные напряжения σ_0 :

$$\sigma = \beta\sigma_0 \quad (27)$$

Однако в большинстве случаев реальных условий эксплуатации материалов температура является функцией времени. При этом на каждом временном участке нагружения механическая и тепловая нагрузка могут иметь собственный

закон изменения от времени. Модели вязкоупругости при комплексном термосиловом нагружении с учетом фактора естественного старения при длительной эксплуатации, а также различные варианты действующих нагрузок будут рассмотрены ниже.

Возвращаясь к общему виду операторного уравнения ползучести (12), и сравнивая его с общим видом полученных наследственных уравнений (21), можем записать последнее в виде (12):

$$\sigma = \left[E \left(1 + \ln \frac{t}{\tau_0} \right) + \eta \frac{1}{t} \right] \varepsilon, \quad (28)$$

Сравнивая (28) и (12) находим выражение для операторного модуля вязкоупругости $\bar{E} = \{\bar{Q}\}/\{\bar{P}\}$:

$$\bar{E} = E \left(1 + \ln \frac{t}{\tau_0} \right) + \eta \frac{1}{t}, \quad (29)$$

Таким образом, получено уравнение связи линейной упругости и линейной вязкоупругости, выражающее принцип соответствия в виде (29) или в наиболее общем виде:

$$\sigma = \bar{E} \varepsilon \quad (30)$$

Таким образом, получены основные обобщенные уравнения теории ползучести и кинетической теории прочности, связывающие основные величины, характеризующие микроуровневые случайные отклонения, наблюдаемых физических величин от их средних значений, образующих систему частиц, с основными величинами, характеризующими ТНДС тела, а также с основными физикомеханическими, теплофизическими характеристиками тела, константами вязкоупругости и эмпирическими константами конкретных материалов РТТ. Получены различные виды решений интегральных уравнений вязкоупругости, а также решение операторного уравнения обобщенной многопараметрической модели материалов РТТ и модуль перехода от физических уравнений линейной упругости к уравнениям линейной вязкоупругости, отвечающий принципу соответствия упругой и вязкоупругой задач классической механики сплошной среды.

Литература:

1. Львов А. И. Конструкция, прочность и расчет систем ракет. М., ВА им. Ф. Э. Дзержинского, 1980 г.
2. Дж. Любин Справочник по композиционным материалам. М.: Машиностроение, 1988 г.

Методика расчёта нелинейных систем с помощью метода гармонической линеаризации

Молчанов Илья Аркадьевич, студент;
Бабенков Юрий Михайлович, студент;
Лемза Данила, студент;
Фролов Денис Александрович, студент;
Литвинов Данил Андреевич, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В статье рассмотрен метод гармонической линеаризации нелинейных систем в теории управления. Цель работы — исследование частотных свойств нелинейных систем. Продемонстрирован алгоритм расчета параметров периодических процессов. Полученные результаты применимы при проектировании нелинейных систем автоматического управления.

Ключевые слова: теория управления, нелинейные системы, гармоническая линеаризация

В прикладных задачах теории управления довольно часто приходится иметь дело с нелинейными элементами. Для анализа нелинейного элемента по аналогии с линейным (с использованием аппарата передаточных функций) используется метод гармонической линеаризации.

Рассмотрим типовую задачу и метод её решения.

На вход нелинейного элемента в нелинейной САУ (см. рисунок 1) подаются гармонические колебания

$$x_n(t) = a \sin(\omega t) \quad (1)$$

Статическая характеристика нелинейного элемента представлена на рисунке 2.

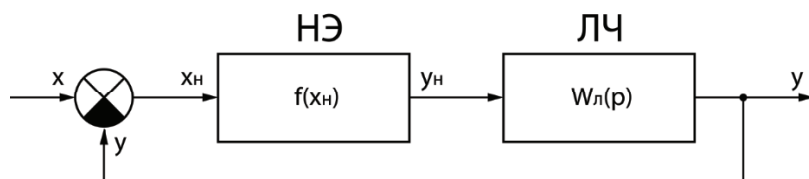


Рис. 1. Структурная схема нелинейной САУ

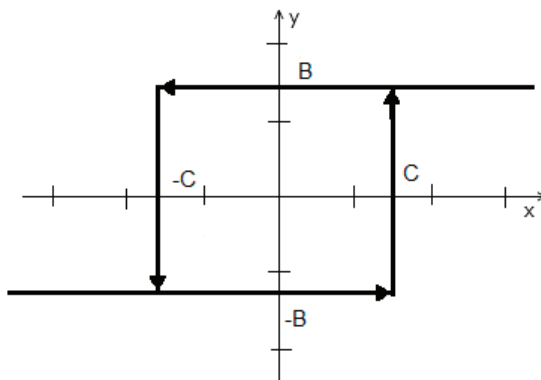


Рис. 2. Статическая характеристика нелинейного элемента

Предположим, что линейная часть системы достаточно инерциальная и не пропускает высокочастотные гармоники. Тогда нелинейный элемент НЭ может быть заменен линейным, частотная характеристика которого зависит от амплитуды входного сигнала [1].

Для того, чтобы на вход нелинейного элемента подавались гармонические колебания $x_n(t)$, необходимо разомкнуть контур нелинейной САУ.

Сигнал $y_n(t)$ на выходе нелинейного элемента при синусоидальном воздействии можно представить в общем виде:

$$y_n(t) = f(x_n(t), x'_n(t)) = f(a \sin(\omega t), a\omega \cos(\omega t)) \quad (2)$$

Рассчитаем точное аналитическое выражения для $y_n(t)$:

При условии того, что:

$$\begin{cases} x_n(t) = a \cdot \sin \omega t \\ a \geq c \end{cases} \quad (3)$$

Где $+c, -c$ — точки перехода по x . Это означает, что экстремумов $x_n(t)$ в интервале $(-c, +c)$ не наблюдается. Тогда гистерезис можно представить математически в виде следующего соотношения:

$$y(x, x') = b \cdot \text{sign}(x - \text{sign}(x') \cdot c) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= y(a \sin \omega t, a\omega \cos \omega t) = b \cdot \text{sign}(a \sin \omega t - \text{sign}(a\omega \cos \omega t) \cdot c) = \\ &= b \cdot \text{sign}(a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c) \end{aligned} \quad (5)$$

Ясно, что это подвид меандра, осталось только вычислить моменты переключения ($y(t) = 0$):

$$b \cdot \text{sign}(a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c) = 0$$

$$a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c = 0$$

$$\sin \omega t = \text{sign}(\cos \omega t) \cdot \frac{c}{a}; \quad \frac{c}{a} \leq 1 \text{ т. к. } a \geq c$$

Получим совокупность решений:

$$\begin{cases} \omega t = \arcsin\left(\text{sign}(\cos \omega t) \cdot \frac{c}{a}\right) + 2\pi n \\ \omega t = \pi - \arcsin\left(\text{sign}(\cos \omega t) \cdot \frac{c}{a}\right) + 2\pi n \end{cases}$$

Функция $\arcsin$ — нечётная, поэтому можно «вынести» sign :

$$\begin{cases} \omega t = \text{sign}(\cos \omega t) \cdot \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \\ \omega t = \pi - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \end{cases}$$

Рассмотрим два случая решения совокупности:

$$\cos \omega t > 0 \Rightarrow -\frac{\pi}{2} + 2\pi n < \omega t < \frac{\pi}{2} + 2\pi n$$

$$\omega t = \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \Rightarrow t = \frac{1}{\omega} \left(\arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \right)$$

$$\omega t = \pi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \Rightarrow \emptyset$$

Пояснение:

$$\arcsin \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right] \Rightarrow \pi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \notin \left(-\frac{\pi}{2} + 2\pi n; \frac{\pi}{2} + 2\pi n\right)$$

$$\cos \omega t < 0 \Rightarrow \frac{\pi}{2} + 2\pi n < \omega t < \frac{3\pi}{2} + 2\pi n$$

$$\omega t = -\arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \Rightarrow \emptyset$$

Пояснение:

$$\arcsin \in \left[-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right] \Rightarrow -\arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \notin \left(\frac{\pi}{2} + 2\pi n; \frac{3\pi}{2} + 2\pi n\right)$$

$$\omega t = \pi + \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \Rightarrow t = \frac{1}{\omega} \left(\pi + \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + 2\pi n \right)$$

Объединим решения:

$$t = \frac{1}{\omega} \left(\arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + \pi n \right) \quad (6)$$

Проверим, что в этих точках функция $f(t) = a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c$ всегда меняет знак (а не просто касается 0). Для этого уточним, не меняется ли в найденных точках знак производной (следовательно, направление движения функции — убывание или возрастание):

$$f'(t) = (a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c)' = a\omega \cos \omega t + 2\omega c \cdot \delta(\cos \omega t) \cdot \sin \omega t = \omega(a \cos \omega t + 2c \cdot \delta(\cos \omega t) \cdot \sin \omega t)$$

$$f'(t) = 0$$

$$\omega(a \cos \omega t + 2c \cdot \delta(\cos \omega t) \cdot \sin \omega t) = 0$$

$$a \cos \omega t = -2c \cdot \delta(\cos \omega t) \cdot \sin \omega t$$

Дельта функция $\delta(z)$ равна 0 везде, кроме тех точек, где $z = \cos \omega t = 0$ (там она равна $+\infty$), а именно и только в этих точках левая часть обращается в 0. Решений нет, значит нет и классических экстремумов, в том числе таких при которых $f(t) = 0$.

Проверим другим способом: покажем знакопеременность функции

$$f = a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c.$$

Для этого вместо решений подставим точки $\frac{\pi n}{\omega}$, так как гарантируется, что:

$$\frac{\pi n}{\omega} < \frac{1}{\omega} \left(\arcsin\left(\frac{c}{x_{\text{нм}}}\right) + \pi n \right)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} a \sin \omega \frac{\pi n}{\omega} - \text{sign} \left(\cos \omega \frac{\pi n}{\omega} \right) \cdot c &= a \sin \pi n - c \text{sign} (\cos \pi n) \\ &= \begin{cases} n = 2m: a \sin 2\pi m - c \text{sign} (\cos 2\pi m) = -c \\ n = 2m + 1: a \sin(\pi(2m + 1)) - c \text{sign} (\cos(\pi(2m + 1))) = c \end{cases} \end{aligned}$$

Видно, что знак функции меняется в зависимости от чётности n .

Соответственно, функция $y_n(t) = b \cdot \text{sign}(a \sin \omega t - \text{sign}(\cos \omega t) \cdot c)$ является меандром. Общая формула меандра со смещением φ :

$$y(t) = b \cdot \text{sign}(\sin(\omega t - \varphi)) \quad (7)$$

Чтобы определить значения частоты и смещения, запишем:

$$\sin(\omega t - \varphi) = 0$$

$$\omega t - \varphi = \pi n$$

$$t = \frac{\pi n + \varphi}{\omega}$$

Сравнивая с ранее полученными решениями, получим окончательно:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)$$

$$y_n(t) = b \cdot \text{sign}\left(\sin\left(\omega t - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) \quad (8)$$

То есть имеем меандр со смещением $\varphi = \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)$ и коэффициентом заполнения 50 % (скважность 2).

Разложим периодический сигнал $y_n(t)$ в ряд Фурье (аналогично [4]), используя первую формулу:

$$y_n(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t)) \quad (9)$$

где

$\omega_1 = 2\pi/T$ — частота первой гармоники;

T — период входного сигнала $x_n(t)$;

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T y_n(t) \cos(k\omega_1 t) dt, k = 0, 1, 2, \dots; \quad (*)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T y_n(t) \sin(k\omega_1 t) dt, k = 1, 2, \dots \quad (**)$$

Так как амплитуда первой гармоники y_{n1} значительно больше амплитуд гармоник выше первых (y_{nk}) и линейная часть нелинейной системы обладает свойством фильтра низкой частоты, то сигнал $y_n(t)$ в формуле (9) статической характеристики можно приближенно представить в следующем виде [2]:

$$y_n(t) \approx \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t) \quad (10)$$

Рассчитаем a_0, a_1, b_1 .

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} y_n(\tau) d\tau$$

Упрощенно, так как наш меандр имеет коэффициент заполнения 50 %, из этого следует, что на любом отрезке времени длиной в период ровно полпериода его значением будет +1, остальные полпериода займёт значение -1. Получается, определённый интеграл будет равен 0.

Но, на всякий случай, проверим:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{\omega}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} b \cdot \text{sign}\left(\sin\left(\omega\tau - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) d\tau = \left| \frac{\omega\tau = \psi}{d\tau = d\left(\frac{\psi}{\omega}\right) = \frac{d\psi}{\omega}} \right| = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} b \cdot \text{sign}\left(\sin\left(\psi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) d\psi = \\ &= \frac{b}{\pi} \left(\int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi} \text{sign}\left(\sin\left(\psi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} \text{sign}\left(\sin\left(\psi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) d\psi \right. \\ &\quad \left. + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} \text{sign}\left(\sin\left(\psi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right)\right)\right) d\psi \right) = \\ &= \frac{b}{\pi} \left(\int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi} 1 d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} -1 d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} 1 d\psi \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{b}{\pi} \left(\arcsin\left(\frac{c}{a}\right) - \pi + \pi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) + \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) - \pi + \pi - \arcsin\left(\frac{c}{a}\right) \right) = 0$$

Таким образом $a_0 = 0$. Далее:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} y_H(\tau) \cos \omega \tau \, d\tau = \\ &= \frac{\omega}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} b \cdot \operatorname{sign} \left(\sin \left(\omega \tau - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \cos \omega \tau \, d\tau = \left| \frac{\omega \tau = \psi}{d\tau = d\left(\frac{\psi}{\omega}\right) = \frac{d\psi}{\omega}} \right| = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} b \cdot \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \cos \psi \, d\psi = \\ &= \frac{b}{\pi} \left(\int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \cos \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \cos \psi \, d\psi \right. \\ &\quad \left. + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \cos \psi \, d\psi \right) = \\ &= \int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi} \cos \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} -\cos \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} \cos \psi \, d\psi = \\ &= \frac{b}{\pi} \left(-\sin \left(-\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) + \pi \right) - \sin(-\pi) - \sin \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) - \sin \left(-\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) + \pi \right) + \sin(\pi) - \sin \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) = \\ &= -\frac{b}{\pi} \left(\frac{c}{a} + 0 + \frac{c}{a} + \frac{c}{a} - 0 + \frac{c}{a} \right) = -\frac{4bc}{\pi a} \end{aligned}$$

Далее, учитывая, что:

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1 \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha};$$

$$\alpha = \arcsin \beta \Rightarrow$$

$$\cos(\arcsin \beta) = \sqrt{1 - \sin^2(\arcsin \beta)} = \sqrt{1 - \beta^2}$$

Получим:

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} y_H(\tau) \sin \omega \tau \, d\tau = \frac{\omega}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} b \cdot \operatorname{sign} \left(\sin \left(\omega \tau - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \sin \omega \tau \, d\tau = \\ &= \left| \frac{\omega \tau = \psi}{d\tau = d\left(\frac{\psi}{\omega}\right) = \frac{d\psi}{\omega}} \right| = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} b \cdot \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \sin \omega \tau \, d\psi = \\ &= \frac{b}{\pi} \left(\int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \sin \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a}) - \pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \sin \psi \, d\psi \right. \\ &\quad \left. + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} \operatorname{sign} \left(\sin \left(\psi - \arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \sin \psi \, d\psi \right) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_{-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi} \sin \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})-\pi}^{\arcsin(\frac{c}{a})} -\sin \psi \, d\psi + \int_{\arcsin(\frac{c}{a})}^{\pi} \sin \psi \, d\psi = \\
 &= \frac{b}{\pi} \left(-\cos \left(-\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) + \pi \right) + \cos(-\pi) + \cos \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) - \cos \left(-\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) + \pi \right) - \cos(\pi) + \cos \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) \\
 &= \\
 &= \frac{b}{\pi} \left(2 \cos \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) + 2 \cos \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) = \frac{b}{\pi} \left(4 \cos \left(\arcsin \left(\frac{c}{a} \right) \right) \right) = \\
 &= \frac{4b}{\pi} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{a^2}} \\
 &a_0 = 0; a_1 = -\frac{4bc}{\pi a}; b_1 = \frac{4b}{\pi} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{a^2}} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Тогда формула (10) примет вид:

$$y_H(t) \approx a_1 \cos(\omega t) + b_1 \sin(\omega t) \quad (12)$$

Из формулы следует (1), что

$$x_H(t) = a \sin(\omega t); x'_H(t) = a\omega \cos(\omega t) \quad (13)$$

Введём обозначения:

$$q(a) = \frac{b_1}{a} = \frac{4b}{\pi a} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{a^2}} \quad (14)$$

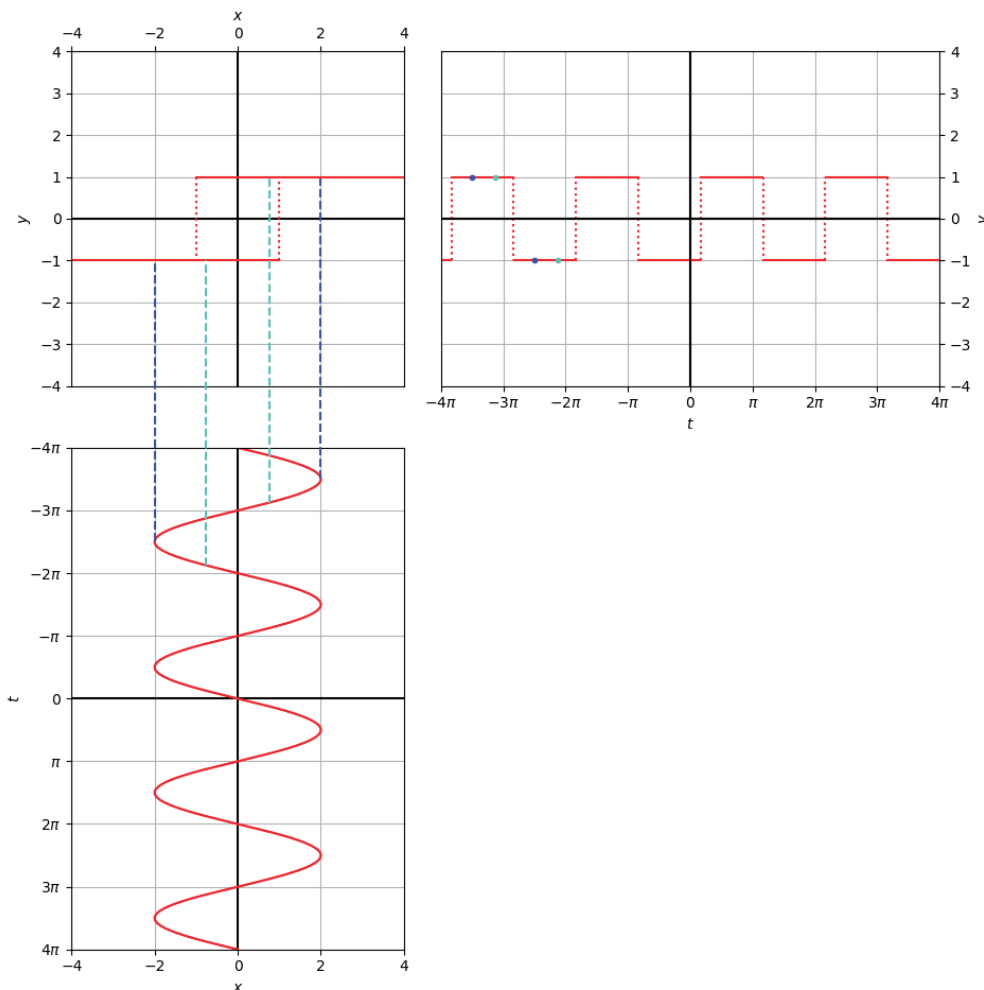


Рис. 3. Статическая характеристика нелинейного элемента и графики входных и выходных сигналов

$$q_1(a) = \frac{a_1}{a} = -\frac{4bc}{\pi a^2} \quad (15)$$

Тогда, из (12), (13), (14) и (15) получим:

$$y_n(t) \approx q(a) \cdot x_n(t) + \frac{q_1(a)}{\omega} \cdot x'_n(t) \quad (16)$$

Графики входных $x(t)$ и выходных колебаний $y_n(t)$ нелинейного элемента представлены на рисунке 3.

Выведем формулу эквивалентной передаточной функции нелинейного элемента $W_n(p, a)$. Запишем формулу (7) в операторном виде:

$$y_n(p) \approx q(a) \cdot x_n(p) + \frac{q_1(a)}{\omega} \cdot p x_n(p) \quad (17)$$

Поделим $y_n(p)$ на $x_n(p)$. Получим:

$$W_n(p, a) = \frac{y_n(p)}{x_n(p)} = q(a) + \frac{q_1(a)}{\omega} \cdot p \quad (18)$$

Таким образом, эквивалентная передаточная функция нелинейного элемента (9) определяется следующим образом:

$$W_n(p, a) = \frac{4b}{\pi a} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{a^2} - \frac{4bc}{\pi a^2} \cdot \frac{p}{\omega}} = \frac{4b}{\pi a} \left(\sqrt{1 - \frac{c^2}{a^2} - \frac{c}{a} \cdot \frac{p}{\omega}} \right) \quad (19)$$

Литература:

1. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования. — 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Быща Школа. Головное изд-во, 1989. — 431 с.
2. Попов Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие. — 2-е изд., стер. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 256 с — ISBN 5-02-013903-3.
3. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: справочник / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 608 с. — ISBN 978-5-8114-0906-8.
4. Демкин В. И. Курс лекций по НСУ. Лекция 2. Гармоническая линеаризация [Электронный ресурс] / В. И. Демкин. — Москва: МИЭТ, 2026. — 8 с. (дата обращения: 16.03.2026)

Способ переохлаждения и заморозки водосодержащих продуктов и биологических объектов: экспериментальная верификация и перспективы применения

Найденков Игорь Владимирович, главный конструктор (г. Москва)

В работе представлены результаты экспериментальной верификации способа переохлаждения и заморозки водосодержащих продуктов питания и биологических объектов (патент Найденкова И. В.) [1]. Исследования проведены на модельных средах (дистиллированная и водопроводная вода) и реальных объектах (плоды томата, мясо говядины). Подтверждена воспроизводимость эффекта переохлаждения, отсутствие плато кристаллизации на температурных профилях и сохранение структурной целостности образцов после термического цикла. Показана необходимость адаптации режимов воздействия под специфику объекта. Актуальность подхода подтверждается современными исследованиями в области криоконсервации, включая успешные эксперименты по трансплантации переохлаждённых органов.

Ключевые слова: переохлаждение, криоконсервация, нуклеация, кристаллизация, фазовый переход, пищевые продукты, биологические ткани.

Введение

Сохранение качества продуктов питания и жизнеспособности биологических объектов при низких температурах остаётся одной из ключевых задач холодильной технологии и криобиологии. Основной причиной де-

градации тканей при замораживании является образование кристаллов льда, механически разрушающих клеточные структуры. Подавление нуклеации и удержание среды в переохлаждённом состоянии позволяет избежать этих повреждений и сохранить исходные свойства объекта.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальной верификации способа, предложенного и запатентованного нами ранее [1], и показана его эффективность для объектов различной природы. В отличие от традиционных методов заморозки, предполагающих неизбежное образование кристаллов льда, а также от методов суперохлаждения (superchilling), допускающих частичную кристаллизацию (образование ледяной фракции до 5–30 %) [2, 3], предлагаемый подход направлен на полное подавление нуклеации и удержание объекта в стабильном переохлаждённом состоянии без фазового перехода. Это принципиальное отличие определяет его преимущества для сохранения структурной целостности биологических тканей.

Современные тенденции подтверждают высокий интерес к методам переохлаждения как в пищевой промышленности, так и в биомедицине. В частности, недавние эксперименты продемонстрировали успешную трансплантацию переохлаждённых почек в модельных животных (MIT Technology Review, 2026) [4], что подчёркивает важность надёжного контроля фазовых переходов для сохранения сложных биологических матриц. При этом стоит отметить, что существующие протоколы переохлаждения органов часто требуют использования сложного оборудования и потенциально токсичных криопротекторов, тогда как предлагаемый метод позволяет достичь стабильного состояния без их применения.

Цель настоящей работы — экспериментальная верификация запатентованного способа переохлаждения и заморозки водосодержащих продуктов питания и биологических объектов, а также оценка его применимости к объектам с различной морфологией и теплофизическими характеристиками.

Эволюция подхода и техническая база

Развитие метода происходило поэтапно, начиная с установок, ориентированных на форсирование фазовых переходов. На ранних этапах в составе исследовательской группы (в том числе под руководством И. В. Кудрякова) разрабатывались системы высокоэнтропийной заморозки с использованием магнетронных источников излучения [5]. Ключевым элементом этих установок являлись магнетроны, размещённые по периметру рабочей камеры и работавшие в импульсном режиме с регулируемыми отражателями. Такой подход позволял создавать неоднородное электромагнитное поле, препятствующее формированию упорядоченных кристаллических структур.

Дальнейшее осмысление результатов позволило сместить фокус с «ускоренной заморозки» на «управляемое переохлаждение», то есть на удержание продукта в метастабильном состоянии без перехода в твёрдую фазу. Именно осознание того, что ключевым фактором является не форсирование фазового перехода, а стабилизация жидкой фазы и контроль локальных градиентов температуры, привело к разработке принципиально нового под-

хода. На базе этого инженерного и экспериментального задела был разработан и запатентован способ переохлаждения и заморозки водосодержащих продуктов питания и биологических объектов [1], в котором учтены особенности теплопереноса и морфологии таких объектов.

Методика и экспериментальная установка

Объекты исследования

Испытания проводили поэтапно на разных типах образцов:

- **Дистиллированная вода и водопроводная вода.** Использование двух типов воды позволяло оценить влияние растворённых примесей на кинетику нуклеации.
- **Плоды томата (*Solanum lycopersicum*).** Выбраны как репрезентативный объект овощной культуры с высоким содержанием влаги и чувствительной кожицей.
- **Мясо говядины.** Использовано как биологический объект животного происхождения со сложной морфологией и иными теплофизическими характеристиками по сравнению с растительными тканями.

Для каждого типа объекта применяли отдельные режимы работы прибора, что обусловлено различиями в теплопроводности, влагосодержании и структуре тканей. В частности, для биологических объектов животного происхождения требовались иные параметры воздействия по сравнению с водой и растительными образцами.

Экспериментальная установка

Эксперименты проводили в климатической камере кубической формы (сторона — 1,0 м). Для охлаждения использовали герметичный ротационный компрессор AW2512ZXG на хладагенте R404A. Стабильность температуры в рабочей зоне обеспечивали за счёт непрерывной работы компрессора и регулируемого нагревательного элемента: мощность нагревателя динамически корректировали для компенсации избыточного холодопритока. Такой режим исключал циклическое включение/выключение компрессора и связанные с этим температурные флуктуации, способные инициировать спонтанную кристаллизацию.

В объёме камеры размещали прибор, реализующий запатентованный способ переохлаждения [1], а также образцы для испытаний и контрольные образцы. Контрольные образцы охлаждали в тех же условиях камеры, но без применения запатентованного способа.

Температуру фиксировали с помощью оптоволоконных датчиков TS2 Fiber Optic Temperature Sensor, подключённых к 4-канальному регистратору. Оптоволоконная система обеспечивала измерения без электромагнитных наводок и позволяла надёжно контролировать температурные профили как в воздухе камеры, так и непосредственно в зоне образцов.

Повторяемость и контроль условий

Для обеспечения достоверности результатов каждый тип эксперимента (вода, томаты, мясо) проводили в трёх независимых сериях. В каждой серии использовали не менее 5 образцов в тестируемой группе и 5 образцов в контрольной группе. Критериями успешного удержания в переохлаждённом состоянии считали:

- отсутствие температурного плато, соответствующего скрытому теплу кристаллизации;
- плавное изменение температуры образца, синхронное с изменением температуры камеры;
- сохранение структурной целостности образца после нагрева до комнатной температуры.

Температурные профили регистрировали с частотой, достаточной для разрешения кинетики фазовых переходов. Для каждого образца фиксировали не менее трёх контрольных точек: начало охлаждения, достижение целевой температуры и нагрев до комнатной температуры.

Результаты

На температурных графиках отчётливо прослеживается различие между контрольными и тестируемыми образцами. Для контрольных образцов характерно наличие выраженного плато при температуре замерзания, свидетельствующего о протекании фазового перехода «вода — лёд». У тестируемых образцов плато отсутствует: температура плавно снижается до уровня температуры камеры и так же плавно повышается при нагреве, без проявления эффектов, связанных со скрытым теплом плавления.

Результаты осмотра образцов после термического цикла согласуются с термометрическими данными. Контрольные образцы демонстрировали структурные повреждения: потерю упругости, разрывы кожицы, вытекание сока. Тестируемые образцы сохраняли исходные характеристики: упругость, целостность тканей и внешний вид, сопоставимый со свежим продуктом.

Для образцов мяса говядины дополнительно оценивали потери массы и однородность температурного поля внутри образца. В тестируемой группе потери массы были существенно ниже по сравнению с контрольной группой (снижение на 40–60 % в зависимости от режима), а температурный профиль — более равномерным, что свидетельствует о предотвращении локальной кристаллизации.

На рис. 1 представлены совмещённые графики охлаждения двух помидоров, одновременно находившихся в камере охлаждения с температурой -8°C . Один помидор располагался в зоне воздействия установки, второй — вне зоны воздействия. График наглядно демонстрирует различия в динамике охлаждения: помидор в зоне воздействия установки достиг температуры -8°C без формирования плато кристаллизации, тогда как второй помидор достиг этой температуры лишь после прохождения характерного плато. При последующем нагреве камеры помидор, находившийся в зоне воздействия, плавно на-

грелся до плюсовых температур без проявления плато, в то время как второй помидор при достижении отметки 0°C вновь сформировал плато, обусловленное скрытым теплом плавления, и продолжил нагреваться только после завершения этого этапа фазового перехода.

Ключевое различие между тестируемым и контрольным образцами заключается в следующем:

- **Отсутствие плато:** на графике тестируемого образца отсутствуют горизонтальные участки, соответствующие фазовому переходу.
- **Линейность:** температура тестируемого образца изменяется плавно и линейно, синхронно с температурой камеры, что свидетельствует об отсутствии скрытой теплоты кристаллизации.
- **Сохранность структуры:** отсутствие фазовых переходов напрямую коррелирует с сохранением целостности тканей, что визуально подтверждается после размораживания.

На рис. 2 представлен отдельный график изменения температуры помидора, находившегося вне зоны воздействия установки. На графике отчётливо прослеживается характерное плато при температуре замерзания, соответствующее фазовому переходу «вода — лёд», а также повторное формирование плато при 0°C в процессе нагрева, что свидетельствует о протекании обратного фазового перехода (таяния льда). Плавные участки снижения и повышения температуры чередуются с горизонтальными участками (плато), отражающими поглощение или выделение скрытой теплоты фазового перехода.

На рис. 3 изображён отдельный график изменения температуры помидора, подвергавшегося воздействию установки. В отличие от графика на рис. 2, на данном графике отсутствуют выраженные плато как при охлаждении, так и при нагреве. Температура помидора плавно снижается до -8°C и затем так же плавно возрастает, что указывает на подавление процессов кристаллизации воды и, как следствие, на отсутствие выделения или поглощения скрытой теплоты фазового перехода. Такая динамика температуры свидетельствует об эффективности воздействия установки, предотвращающей формирование кристаллов льда и минимизирующей структурные повреждения тканей продукта.

Приведённые графические данные детально отражают динамику изменения температуры обоих образцов на протяжении всего эксперимента. Значения демонстрируют, что на начальных этапах охлаждения разница в температуре между образцами была незначительной, однако по мере снижения температуры различия становились более выраженными. Особенно отчётливо это проявляется в диапазоне температур, соответствующем зоне фазового перехода: у помидора вне зоны воздействия установки наблюдается замедление темпа снижения температуры (формирование плато), тогда как у помидора под воздействием установки температура продолжает снижаться практически линейно. В фазе нагрева аналогичная картина наблюдается в районе 0°C : у контроль-

ного образца фиксируется стабилизация температуры, обусловленная плавлением льда, в то время как у тестируемого образца температура продолжает равномерно повышаться. Эти данные подтверждают выводы, сделанные

на основании анализа графиков, и свидетельствуют о значимом влиянии установки на термодинамические процессы, протекающие в продукте при замораживании и размораживании.

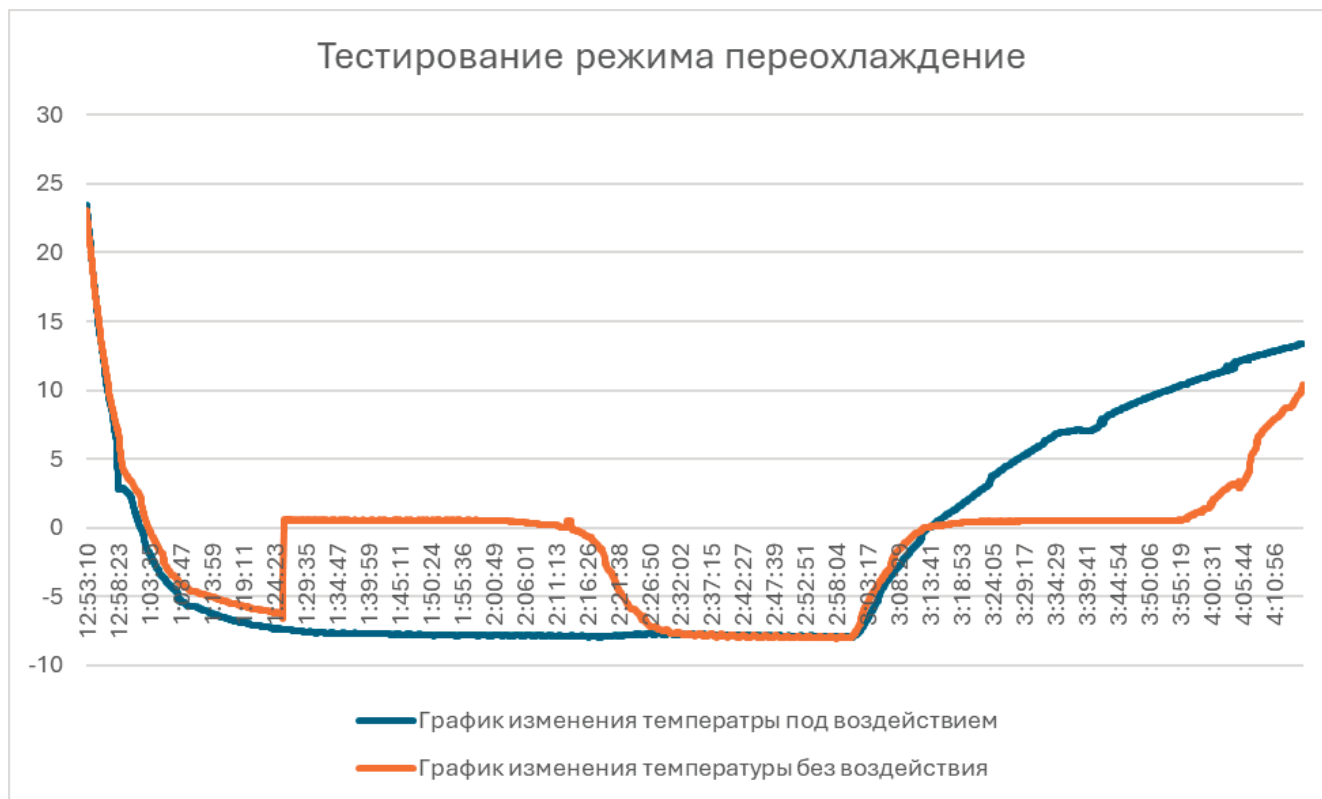


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Обсуждение результатов

Полученные данные демонстрируют воспроизводимость эффекта переохлаждения на принципиально разных объектах: от модельной среды (вода) до растительных и животных тканей. Для дистиллированной и водопроводной воды ключевым подтверждением стабильности переохлаждённого состояния служило отсутствие температурного плато. При этом сопоставимое поведение обоих типов воды свидетельствует о том, что предложенный способ обеспечивает устойчивый контроль нуклеации даже при наличии растворённых примесей.

На примере плодов томата наглядно проявилась практическая значимость метода: сохранение структурной целостности тканей при термическом цикле напрямую связано с предотвращением механического повреждения клеточных стенок кристаллами льда. Отсутствие разрывов кожицы и вытекания сока у тестируемых образцов подтверждает, что удержание продукта в переохлаждённом состоянии позволяет избежать типичных деградиационных эффектов.

Опыты с мясом говядины выявили необходимость адаптации параметров воздействия под специфику биологических объектов животного происхождения. Мышечная ткань характеризуется иной теплопроводностью, неоднородным распределением влаги и наличием волокнистых структур, что требует корректировки режимов работы прибора для равномерного подавления нуклеации и предотвращения локальных зон кристаллизации. Это подтверждается результатами по потерям массы и однородности температурного поля.

Важно подчеркнуть, что выявленная необходимость индивидуальной настройки режимов согласуется с со-

временными тенденциями в области низкотемпературного хранения биологических тканей. Показательно, что аналогичные принципы — подавление нуклеации и поддержание переохлаждённого состояния — активно исследуются применительно к сохранению органов: например, в недавних экспериментах продемонстрирована успешная трансплантация переохлаждённых почек в модельных животных (MIT Technology Review, 2026) [4]. Это подтверждает, что стабильность переохлаждённого состояния и предотвращение кристаллизации являются универсальными требованиями для разных классов биологических объектов — от пищевых продуктов до донорских органов. При этом специфика морфологии и теплопроводности каждого типа объекта требует индивидуальной настройки режимов воздействия, что и было реализовано в предложенном способе.

Таким образом, переход от простых модельных сред к сложным биологическим матрицам (в том числе водосоудержащим и мышечным тканям) не только подтверждает универсальность базового принципа, но и обосновывает дифференцированный подход к выбору параметров обработки — именно эта особенность лежит в основе запатентованного способа [1] и определяет его практическую ценность для широкого спектра объектов.

Выводы

Экспериментально подтверждена работоспособность способа переохлаждения и заморозки водосоудержащих продуктов питания и биологических объектов на разных типах сред: воде, плодах томата и мясе говядины.

Отсутствие температурного плато кристаллизации и декристаллизации на термопрофилях тестируемых образцов служит прямым индикатором удержания в переохлаждённом состоянии.

Сохранение структурной целостности и снижение потерь массы в тестируемых образцах подтверждает эффективность метода в предотвращении повреждений, обусловленных образованием льда.

Для объектов с различной морфологией и теплофизическими свойствами (в частности, для тканей животного

происхождения) необходима индивидуальная настройка режимов воздействия.

Актуальность и перспективность подхода подтверждаются современными исследованиями в смежных областях, включая криоконсервацию органов.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на масштабирование методики для промышленных линий заморозки и на адаптацию режимов для более сложных биологических объектов, где сохранение жизнеспособности тканей является определяющим критерием.

Литература:

1. Найденов И. В. Способ переохлаждения и замораживания водосодержащих продуктов питания и биологических объектов // Патент РФ № 2864985. Дата публикации: 30 июня 2026 г.
2. Stevik, A. Superchilling of food: A review / A. Stevik, al et. — Текст: непосредственный // Journal of Food Engineering. — 2011. — № 107. — С. 1–10.
3. Kaale, L. D. The influence of superchilling storage methods on the location/distribution of ice crystals during storage of Atlantic salmon (*Salmo salar*) / L. D. Kaale, T. M. Eikevik. — Текст: непосредственный // Food Control. — 2013. — № 30. — С. 345–351.
4. Supercooled Kidneys Have Been Transplanted into Pigs in a Landmark Achievement. — Текст: электронный // MIT Technology Review: [сайт]. — URL: <https://www.technologyreview.com/2026/07/23/1140765/supercooled-kidneys-have-been-transplanted-into-pigs-in-a-landmark-achievement/> (дата обращения: 06.08.2026).
5. Кудряков И. В. Способ высокоэнтропийной заморозки и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2720377. Дата публикации: 29.04.2020.
6. Kudryakov I. V. High-Density Ice Ih Obtained by Crystallization of Water in a High-Frequency Electromagnetic Field / I. V. Kudryakov, al et. — Текст: непосредственный // Crystals. — 2023. — № 5. — С. 821.
7. Mazur, P. Kinetics of water loss from cells at subzero temperatures and the likelihood of intracellular freezing / P. Mazur. — Текст: непосредственный // The Journal of General Physiology. — 1963. — № 2. — С. 347–369.
8. Vitrification as an approach to cryopreservation / G. M. Fahy, D. R. MacFarlane, C. A. Angell, H. T. Meryman. — Текст: непосредственный // Cryobiology. — 1984. — № 21. — С. 407–426.
9. Gao, D. Mechanisms of cryoinjury in living cells / D. Gao, J. K. Critser. — Текст: непосредственный // ILAR Journal. — 2000. — № 4. — С. 187–196.
10. Fuller, B. J. Hypothermic perfusion preservation: The future of organ preservation revisited? / B. J. Fuller, C. Y. Lee. — Текст: непосредственный // Cryobiology. — 2007. — № 54. — С. 129–145.
11. Giwa, S. The promise of organ and tissue preservation to transform medicine / S. Giwa, al et. — Текст: непосредственный // Nature Biotechnology. — 2017. — № 35. — С. 530–542.

Сравнительный анализ методов диагностики отказов датчиков в автоматизированных технических системах

Пиналов Георгий Михайлович, студент
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье рассматриваются методы диагностики отказов датчиков в автоматизированных технических системах. Проведена классификация основных подходов к обнаружению и локализации неисправностей: методы аппаратной и аналитической избыточности, моделирующие подходы, методы на основе данных и гибридные алгоритмы. Выполнен сравнительный анализ методов по критериям точности обнаружения, быстродействия, вычислительной сложности, устойчивости к шумам и возможности работы в реальном времени. Показано, что выбор оптимального метода определяется типом датчика, характером отказов и условиями эксплуатации системы.

Ключевые слова: диагностика датчиков, отказоустойчивость, аналитическая избыточность, моделирующие методы, машинное обучение, нейронные сети, обнаружение отказов, автоматизированные системы.

1. Введение и актуальность исследования

Датчики являются важнейшим звеном автоматизированных систем управления, однако они подвержены отказам, которые могут привести к искажению управляющих сигналов, снижению качества продукции и авариям. Своевременное обнаружение неисправностей критически важно для минимизации негативных последствий. В статье проведена классификация основных методов диагностики отказов датчиков — аппаратной и аналитической избыточности, моделирующих подходов, методов на основе данных и гибридных алгоритмов — и выполнен их сравнительный анализ по критериям точности, быстродействия, вычислительной сложности, помехоустойчивости и возможности работы в реальном времени.

2. Классификация отказов датчиков

Для выбора метода диагностики необходимо учитывать основные типы отказов датчиков: полный отказ (пропадание сигнала), смещение нуля (постоянная аддитивная ошибка), дрейф (медленное изменение показаний), застревание (фиксированное значение) и повышенный уровень шума. Выбор конкретного метода диагностики определяется типом отказа и его динамикой.

3. Классификация методов диагностики отказов датчиков

Методы диагностики отказов датчиков принято разделять на две основные категории: методы на основе аппаратной избыточности и методы на основе аналитической избыточности.

3.1. Методы аппаратной избыточности

Аппаратная избыточность предполагает использование нескольких физических датчиков для измерения одного и того же параметра. В простейшем случае применяется дублирование (два датчика), в более ответственных системах — тройное резервирование с мажоритарным голосованием (два из трёх). Отказ датчика обнаруживается при расхождении его показаний с показаниями других датчиков. Данный метод отличается высокой надежностью и быстродействием, однако требует значительных аппаратных затрат и усложняет систему. Кроме того, аппаратная избыточность не защищает от отказов общей причины, когда все датчики выходят из строя одновременно под воздействием одного внешнего фактора.

3.2. Методы аналитической избыточности

Аналитическая избыточность использует математические модели объекта управления или самого датчика для формирования оценок измеряемых величин. Сравнение реальных показаний датчика с расчётными значениями позволяет обнаруживать отклонения, свидетельствующие о неисправности. В рамках аналитической избыточности выделяют три основных подхода:

Моделирующие методы (model-based) — используют явные математические модели объекта или датчика. К ним относятся методы на основе наблюдателей (наблюдатели Luenberger, наблюдатели полного порядка, скользящие наблюдатели), метод пространства паритетных соотношений (parity-space approach) и фильтры Калмана [1].

Методы на основе данных (data-driven) — не требуют точной математической модели, а используют статистические закономерности в исторических данных. Включают методы главных компонент (PCA), анализ независимых компонент (ICA), методы машинного обучения (нейронные сети, метод опорных векторов, решающие деревья) и нечёткую логику.

Гибридные методы — комбинируют моделирующий и дата-драйвен подходы, используя физическую модель для генерации базовых оценок и данные для адаптации и коррекции [2].

Сравнительный анализ методов диагностики

Для сравнения методов диагностики отказов датчиков выделены критерии: точность, скорость, вычислительная сложность, помехоустойчивость и требования к модели/данным.

Аппаратная избыточность обеспечивает максимальную точность и мгновенное обнаружение без модели, но дорога и не защищает от общих причин отказов.

Моделирующие методы (наблюдатели, фильтры Калмана, паритетные соотношения) точны и быстры при наличии модели, но чувствительны к неопределённостям, а фильтры Калмана — наиболее сложны вычислительно.

Методы на основе данных (PCA, нейросети, SVM, нечёткая логика) универсальны для нелинейных систем. Нейросети точны и помехоустойчивы, могут работать без размеченных данных, но требуют больших объёмов и ресурсов; PCA проще, но менее точен; нечёткая логика интерпретируема и проста, но зависит от качества экспертных правил.

Гибридные подходы объединяют физическую модель (интерпретируемость) и данные (коррекция в условиях неопределённости), обеспечивая высокую точность и устойчивость при приемлемых вычислительных затратах.

Выбор метода определяется условиями: критичные системы — аппаратная избыточность; наличие модели — наблюдатели/фильтры Калмана; неопределённость и данные — нейросети; быстрое внедрение без данных — нечёткая логика; наиболее перспективны гибридные решения.

5. Обсуждение результатов

Сравнительный анализ показывает, что ни один из рассмотренных методов не является универсальным. Аппаратная избыточность остаётся наиболее простым и надёжным решением, но её экономическая нецелесообразность в массовых системах стимулирует развитие аналитических подходов. Моделирующие методы эффективны, но требуют точной модели, что не всегда достижимо. Методы на основе данных, особенно нейросетевые, демонстрируют высокую точность и помехоустойчивость, однако нуждаются в больших объёмах данных и вычислительных мощностях. Гибридные подходы, сочетающие физические законы с алгоритмами машинного обучения, представляются наиболее сбалансированным решением, позволяющим достичь высокой достоверности диагностики при приемлемых вычислительных затратах.

6. Заключение

Проведённый сравнительный анализ показал, что каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и ограничения: аппаратная избыточность максимально надёжна, но затратна; моделирующие методы эффективны при наличии точной модели, но чувствительны к неопределённостям; методы на основе данных (особенно нейросетевые) точны и помехоустойчивы, но требуют больших объёмов данных и ресурсов. Наиболее перспективными являются гибридные подходы, сочетающие физические модели с машинным обучением. Рекомендуется при проектировании систем диагностики учитывать тип датчика, характер отказов, условия эксплуатации и доступные ресурсы, а для критически важных систем сочетать аппаратную избыточность с аналитическими методами.

Литература:

1. ГОСТ Р 27.303–2021 (МЭК 60812:2018). Надёжность в технике. Анализ видов и последствий отказов. — Введ. 2022–01–01. — М.: Российский институт стандартизации, 2021. — 70 с.
2. ГОСТ 27.002–2015. Надёжность в технике. Термины и определения. — Введ. 2017–03–01. — М.: Стандартинформ, 2016. — 30 с.

Повышение точности позиционирования сервоприводов в мехатронных системах за счет адаптивных алгоритмов управления

Пиналов Георгий Михайлович, студент
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье рассматриваются адаптивные алгоритмы управления для повышения точности позиционирования сервоприводов в мехатронных системах. Проанализированы источники погрешностей — нелинейное трение, параметрическая неопределённость, изменение инерции нагрузки и внешние возмущения. Проведён обзор адаптивных методов: самонастраивающиеся и нечёткие ПИД-регуляторы, управление с эталонной моделью, адаптивное скользящее и робастное управление, нейросетевые и нечёткие алгоритмы, активное подавление возмущений. Показано, что адаптивные алгоритмы позволяют компенсировать неопределённости в реальном времени, обеспечивая субмикронную точность позиционирования.

Ключевые слова: сервопривод, позиционирование, адаптивное управление, мехатронные системы, нечёткая логика, нейронные сети, скользящий режим, робастное управление.

1. Введение и актуальность исследования

Сервоприводы являются ключевыми исполнительными элементами мехатронных систем — от промышленных роботов до оборудования микроэлектроники. Требования к точности позиционирования достигают единиц и даже нанометров, однако традиционные ПИД-регуляторы с фиксированными коэффициентами неспособны обеспечить высокую

точность из-за нелинейного трения, изменения инерции, параметрической неопределённости и внешних возмущений. Разработка адаптивных алгоритмов, подстраивающихся под изменяющиеся условия, является актуальной задачей.

2. Источники погрешностей позиционирования

Основные факторы, ограничивающие точность: нелинейное трение (эффекты Стрибека, кулоновское и вязкое трение, зоны нечувствительности), изменение инерции нагрузки при переменной загрузке, параметрическая неопределённость (изменение сопротивления, индуктивности, магнитного потока), внешние возмущения (силы резания, вибрации) и нелинейности механической передачи (люфты, упругие деформации). Эти факторы делают невозможным достижение высокой точности с регуляторами постоянной структуры.

3. Классификация адаптивных алгоритмов управления

3.1. Адаптивные ПИД-регуляторы

Наиболее простые для промышленного внедрения. Самонастраивающиеся ПИД-регуляторы выполняют онлайн-идентификацию модели объекта и пересчёт коэффициентов. Нечёткие самонастраивающиеся ПИД-регуляторы корректируют коэффициенты на основе ошибки и скорости её изменения. Исследования показывают снижение перерегулирования до 40 % и сокращение времени установления [1].

3.2. Адаптивное управление с эталонной моделью (MRAC)

Обеспечивает следование выхода системы за выходом эталонной модели, задающей желаемые динамические свойства. Эффективно при параметрической неопределённости, но требует выбора эталонной модели и чувствительно к немоделируемой динамике.

3.3. Адаптивное скользящее управление

Обеспечивает робастность к возмущениям, но страдает от высокочастотного дребезга. Адаптивные модификации (AIFSMC) динамически настраивают коэффициент усиления, снижая дребезг. Метод с фиксированным временем сходимости гарантирует сходимость ошибок за фиксированное время.

3.4. Адаптивное робастное управление (ARC)

Объединяет компенсацию параметрических неопределённостей (адаптивная часть) и подавление непараметрических возмущений (робастная часть). Обеспечивает гарантированную устойчивость. В гидравлических сервосистемах с наблюдателем возмущений улучшает точность отслеживания на 27 %.

3.5. Нейросетевые и нечёткие адаптивные алгоритмы

Нейросетевые регуляторы с RBF-функциями компенсируют нелинейности (модель LuGre для трения). Нечёткие регуляторы используют базу лингвистических правил, обеспечивая робастность к изменениям параметров. Требуют вычислительных ресурсов и времени обучения.

3.6. Активное подавление возмущений (ADRC)

Использует расширенный наблюдатель состояния для оценки и компенсации суммарных возмущений. MSADRC с компенсацией трения снижает пиковую ошибку до 55 %. Адаптивный расширенный наблюдатель (AESO) динамически настраивает параметры для повышения точности оценки изменяющихся возмущений.

4. Сравнительная эффективность методов

Адаптивные ПИД-регуляторы — просты, но ограничены при сильных нелинейностях. MRAC обеспечивает заданную динамику, но чувствителен к немоделируемой динамике. Адаптивное скользящее управление — высокоробастно, требует настройки для снижения дребезга. ARC — наилучшее решение при одновременных параметрических и непараметрических неопределённостях. Нейросетевые и нечёткие методы — универсальны, но ресурсоёмки. ADRC эффективен

при значительных возмущениях, зависит от качества настройки наблюдателя. Прямые сравнения показывают, что адаптивное скользящее управление точнее ПИД, нечёткий ПИД превосходит традиционный по быстродействию и перерегулированию, MRAC обеспечивает лучшее демпфирование [2].

5. Практические аспекты реализации

При внедрении необходимо учитывать ограничения вычислительных ресурсов (особенно для нейросетей), качество онлайн-идентификации параметров (чувствительность к шумам), робастность к шумам измерений (использование наблюдателей), требования к начальной настройке. Современные DSP-процессоры позволяют реализовывать сложные алгоритмы в реальном времени. Фильтрация переменных и методы с фиксированным временем сходимости повышают робастность идентификации.

6. Заключение

Адаптивные алгоритмы являются эффективным инструментом повышения точности позиционирования сервоприводов. Основные выводы: источники погрешностей требуют компенсации адаптивными методами; спектр методов широк — от простых адаптивных ПИД до сложных нейросетевых; адаптивные ПИД наиболее доступны для промышленности; наибольшую точность дают комбинированные подходы (AIFSMC, MSADRC, ARC с наблюдателями) с улучшением на 27–55 %; при реализации важны вычислительные ресурсы, идентификация, робастность к шумам и начальная настройка. Рекомендуется выбирать метод в зависимости от требований к точности, ресурсов и характера неопределённостей. Наиболее перспективны гибридные системы, объединяющие несколько подходов для синергетического эффекта.

Литература:

1. ПИД регулятор настройка. — Текст: электронный // INNER ENGINEERING: [сайт]. — URL: <https://inner.su/articles/pid-regulator-nastroyka/?ysclid=ms6ab86q2688181653> (дата обращения: 01.08.2026).
2. ГОСТ Р МЭК 61297–2017. Системы управления промышленным процессом. Классификация адаптивных контроллеров для их оценки. — Введ. 2018–01–01. — М.: Стандартинформ, 2017. — 7 с.

Разработка экспериментальной закрытой установки лазерной обработки материалов с локализованным излучением и диодным источником 445 нм (NUBM47A1) для уроков труда в учебных заведениях

Синицын Александр Владимирович, оператор станков
ОАО Саранский приборостроительный завод

В статье представлена концепция и прототип на начальном этапе разработки экспериментальной закрытой установки для лазерной обработки материалов на базе диодного источника 445 нм (NUBM47A1), адаптированной к условиям общеобразовательной школы. Внедрение отечественной платы управления Inectra. Описаны конструктивные решения, обеспечивающие локализацию излучения и безопасность эксплуатации, методика подбора режимов обработки для фанеры, непрозрачного акрила и картона, а также интеграция установки в учебный процесс по предмету «Труд (технология)». Приведены результаты пилотных испытаний и разработанные методические рекомендации по применению в проектной деятельности учащихся, включая изготовление корпусных деталей для электронных проектов (Arduino и др.).

Ключевые слова: лазерная обработка, диодный лазер, 445 нм, NUBM47A1, Inectra, mgn12, закрытая установка, локализация излучения, безопасность, уроки труда, технологическое образование, проектная деятельность.

Введение

Современные требования к предмету «Труд (технология)» предполагают формирование у учащихся навыков работы с цифровыми производственными технологиями, включая CAD/CAM-цепочки и аддитивно-субтрактивную обработку материалов. В то же время внедрение промышленного лазерного оборудования в школы ограничено высокой стоимостью, габаритами, дополнительным оборудованием и требованиями к безопасности.

Альтернативой могут служить компактные установки на базе мощных полупроводниковых лазеров, в частности диодов с длиной волны 445 нм (NUBM47A1). Их преимущества — относительно низкая стоимость, компактность, со-

вместимость с простыми системами управления (в т. ч. на платформе Inectra) и достаточная мощность для резки и гравировки тонких листовых неметаллических материалов.

Цель работы — разработать и апробировать экспериментальную закрытую установку лазерной обработки с локализованным излучением, безопасную для использования в школьных мастерских и пригодную для интеграции в учебные проекты.

Материалы и методы

Объект исследования

Установка предназначена для обработки листовых материалов: фанеры (3–6 мм), акрила (3 мм), картона и бумаги. Выбор материалов обусловлен их широким применением в школьных проектных работах (корпуса, макеты, сборные модели).

Источник излучения

В качестве излучателя использован диодный модуль NUBM47A1 с номинальной длиной волны 445 нм. Мощность излучения подбиралась в диапазоне 5–7 Вт (в зависимости от задачи и требований безопасности). Управление током диода реализовано через драйвер с ШИМрегулированием с TTL-модуляцией, совместимый с микроконтроллерами семейства Inectra.

Плата управления

Контроллеры Inectra — это программно-аппаратный комплекс для управления ЧПУ-станками, которые работают в связке с программным обеспечением. У Inectra есть своя программа для ПК (Inectra CNC Visualizer) — она поддерживает Windows и Linux. А ещё есть бесплатное Android-приложение: с его помощью можно управлять станком со смартфона или планшета.

Конструкция и локализация излучения

Ключевым требованием являлась полная локализация излучения внутри корпуса:

- Закрытый корпус из негорючих материалов с уплотнениями по стыкам.
- Смотровое окно со светофильтром, отсекающим излучение 445 нм (оптическая плотность не менее OD4).
- Механическая блокировка дверцы с отключением питания при открытии.
- Вытяжка для удаления продуктов термической деструкции (дым, мелкодисперсные частицы).
- Фокусирующая оптика с фиксированным фокусом, исключающая случайное изменение пятна и перегрев.
- Перемещение каретки реализовано по осям X/Y с шаговыми двигателями, линейными направляющими mgn12 и ременной передачей, управление — через G-code-контроллер Inectra.

Методика испытаний

Для каждого типа материала подбирались режимы обработки (мощность, скорость, число проходов) с целью достижения сквозной резки либо чёткой гравировки без обугливания краёв. Критерии оценки: повторяемость результата, ширина реза, качество кромки, безопасность (отсутствие открытого излучения, стабильность работы блокировок).

Результаты и обсуждение

Технологические режимы

На основании серии экспериментов определены оптимальные режимы для типовых материалов.

Материал	Толщина	Мощность	Скорость	Число проходов	Результат
Фанера берёзовая	3 мм	7Вт	150 мм/мин	1	Сквозная резка, кромка с умеренным обугливанием
Акрил непрозрачный	3 мм	7 Вт	100 мм/мин	1	Рез без сколов, минимальная зона теплового воздействия
Картон технический	2 мм	5 Вт	220 мм/мин	1	Чистый рез, без деформации

Локализация излучения подтверждена отсутствием выхода излучения за пределы корпуса при любых положениях каретки и при попытках вскрытия дверцы (питание автоматически отключается).

Интеграция в учебный процесс

Установка позволяет реализовать полный цикл проектного задания:

- **CAD**: моделирование деталей в FreeCAD/Компас3D (корпуса, крепёжные элементы, шестерёнки).
- **CAM**: генерация Gcode в LaserGRBL/NCStudio.
- **Изготовление**: резка/гравировка на установке, быстрое получение результата.
- **Сборка**: монтаж электронных модулей (Arduino, датчики) в изготовленные корпуса.

Такой подход формирует у учащихся понимание цифровой цепочки «проектирование → подготовка производства → изготовление», а также навыки безопасной работы с технологическим оборудованием.

Безопасность и соответствие требованиям

Конструкция установки соответствует базовым требованиям по работе с лазерным оборудованием класса 3R:

- излучение полностью локализовано;
- доступ к рабочей зоне возможен только при выключенном источнике;
- предусмотрена вентиляция;
- органы управления вынесены наружу, интерфейс интуитивно понятен.

Для школьных условий дополнительно разработаны методические указания и регламент работы, включающий инструктаж, контроль со стороны преподавателя и ограничение времени непрерывной работы.

Практическая значимость и связь с проектной деятельностью

Учитывая растущий интерес школьников к электронике и робототехнике, установка расширяет возможности предметной области «Труд (технология)»:

Корпуса и крепления для Arduino-проектов, датчиков, макетных плат.

Механические элементы (шестерни, направляющие, фиксаторы) для учебных моделей.

Макеты и наглядные пособия для других предметов (физика, биология, география).

Примеры типовых учебных проектов:

- корпус для метеостанции на Arduino (фанера + акрил для окошка);
- набор шестерёнок для демонстрационного редуктора;
- сборная модель архитектурного объекта с гравировкой фасадов.

Выводы

Разработан и испытан прототип на начальном этапе разработки экспериментальной закрытой установки для лазерной обработки на базе диода 445 нм (NUBM47A1), пригодная для использования в школьных мастерских.

Конструкция обеспечивает полную локализацию излучения, безопасность и простоту эксплуатации.

Определены технологические режимы для фанеры, акрила и картона, обеспечивающие качественную резку и гравировку.

Установка интегрируется в проектную деятельность учащихся и способствует формированию компетенций в области цифровых производственных технологий.

Предложенная методика может быть масштабирована для сети образовательных учреждений, включая сотрудничество с технопарками и кванториумами.

Перспективы развития

Дальнейшая работа предполагает:

- внедрение системы видеонаблюдения и удалённого контроля процесса;
- разработку учебнометодического комплекта (рабочие тетради, типовые проекты, банк заданий);
- проведение сравнительных испытаний с минифрезерными станками и 3Dпринтерами для определения оптимальной комбинации оборудования в кабинете технологии.

Литература:

1. ФГОС ООО. Приказ Минпросвещения России от 31.05.2021 № 287.
2. СанПиН 1.2.368521. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

- ГОСТ ИЕС 6082512013. Безопасность лазерной аппаратуры.
- Методические рекомендации по оснащению кабинетов технологии в общеобразовательных организациях. Минпросвещения РФ.

Автоматизация сбора и анализа финансовых данных интернет-магазина с использованием API маркетплейса

Сморчков Марк Дмитриевич, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В статье рассматривается проблема автоматизации сбора и обработки финансовых данных для продавцов на маркетплейсе Ozon. Проведён сравнительный анализ существующих инструментов: электронных таблиц, BI-систем и встроенной аналитики платформы. Показано, что ни один из них не обеспечивает автоматического расчёта чистой прибыли с учётом себестоимости товаров. Описан подход к разработке специализированного веб-приложения на основе Python и Django с интеграцией через Ozon Seller API. Применение решения позволило сократить время еженедельного анализа с 3–4 часов до 30 минут.

Ключевые слова: маркетплейс, Ozon Seller API, электронная коммерция, автоматизация аналитики, Django, чистая прибыль.

Введение

Развитие электронной коммерции в России сопровождается ростом числа продавцов на крупных маркетплейсах — Ozon, Wildberries, Яндекс Маркет [1]. Маркетплейс удерживает комиссию за каждую продажу, плату за логистику и эквайринг [2, 3]. При ассортименте от нескольких десятков позиций и выше продавец сталкивается с характерной информационной проблемой: финансовые данные разрознены по нескольким разделам личного кабинета, а расчёт реальной чистой прибыли по каждой позиции требует ручных операций. Цель статьи — описать подход к автоматизации этого процесса посредством интеграции с Ozon Seller API.

Постановка задачи и анализ существующих решений

Чистая прибыль продавца по каждой товарной позиции определяется по формуле: $\Pi = B - C \times Q - K - L - \Xi$, где Π — чистая прибыль; B — выручка; C — себестоимость единицы; Q — количество реализованных единиц; K — комиссия маркетплейса; L — расходы на логистику; Ξ — эквайринг. Данные по B , K , L и Ξ фиксируются системой маркетплейса, тогда как себестоимость C является внутренней информацией продавца и нигде на платформе не учитывается, что делает автоматический расчёт чистой прибыли невозможным средствами штатных инструментов Ozon.

Электронные таблицы (Excel, Google Sheets) гибки и бесплатны, однако при ассортименте свыше 30–40 позиций ручной перенос данных занимает 3–4 часа в неделю, а формулы подвержены ошибкам ввода. BI-системы (Yandex DataLens, Power BI, Qlik Sense) реализуют принцип ETL — автоматическое извлечение, преобразование и загрузку данных [4] — и обеспечивают высокое качество аналитики, однако их стоимость начинается от 5 000 рублей в месяц [5]. Встроенная аналитика Ozon не учитывает себестоимость ни в одном из тарифов [3]. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ инструментов учёта финансовых показателей продавца

Критерий	Excel	BI-системы	Ozon (бесплатно)	Ozon (Premium)	Разработанная система
Получение данных	Ручной ввод	API / ETL	Личный кабинет	ЛК + API	Автоматически через API
Учёт себестоимости	Вручную	Вручную	Отсутствует	Отсутствует	Да
Расчёт чистой прибыли	Вручную	Настраивается	Отсутствует	Отсутствует	Автоматически
Стоимость	0 ₽	От 5 000 ₽/мес.	0 ₽	От 5 000 ₽/мес.	0 ₽
Актуализация данных	1–2 дня	Настраивается	Реальное время	Реальное время	Каждые 6 часов
Время на анализ	3–4 часа	1 час	1–2 часа	1–2 часа	До 30 минут

Анализ показал, что ни одно из рассмотренных решений не обеспечивает автоматического расчёта чистой прибыли с учётом себестоимости при приемлемом уровне затрат и порога входа, что обуславливает актуальность разработки специализированного инструмента.

Архитектура и реализация системы

Разработанная система представляет собой веб-приложение на языке Python [6] с использованием фреймворка Django [7]. Выбор стека обусловлен наличием библиотек для работы с Ozon Seller API, богатой экосистемой для обработки данных (pandas, openpyxl) и тем, что Django включает все необходимые компоненты: ORM для работы с базой данных PostgreSQL [8], шаблонизатор для рендеринга интерфейса и встроенную систему аутентификации. Приложение построено по паттерну MVT: модели хранят данные, представления реализуют бизнес-логику и взаимодействуют с API, шаблоны на основе Bootstrap 5 формируют интерфейс.

Интеграция с Ozon Seller API осуществляется через HTTP-запросы к трём группам эндпоинтов: транзакции (тип, сумма, дата), товары (артикул, ID, просмотры, выручка, количество заказов) и заказы (статус, даты передачи и доставки). Данные запрашиваются раз в шесть часов и сохраняются в локальной базе данных, что исключает задержки при формировании отчётов. Себестоимость товара вводится пользователем вручную — это единственный параметр, недоступный через API. Выходными данными системы являются: дашборд с агрегированными KPI за период; детальная таблица по каждому товару; рейтинг позиций по выбранному показателю; страница заказов с расчётом срока обработки; файл экспорта в формате.xlsx.

Результаты и обсуждение

Система была апробирована на реальных данных интернет-магазина с ассортиментом около 60 товарных позиций на маркетплейсе Ozon. Время еженедельного анализа финансовых показателей сократилось с 3–4 часов до 30 минут — снижение более чем в шесть раз. Функциональное тестирование подтвердило корректность расчёта чистой прибыли: результаты совпали с ручными расчётами в контрольных примерах. Нагрузочное тестирование показало стабильную работу при одновременном обращении нескольких пользователей. По сравнению с аналогами система обеспечивает автоматическое агрегирование данных из разрозненных источников, учёт себестоимости и единое аналитическое представление — без финансовых вложений и специальных технических компетенций.

Заключение

В статье описан подход к автоматизации сбора и анализа финансовых данных интернет-магазина на маркетплейсе Ozon. Проведённый анализ показал, что существующие инструменты не обеспечивают автоматического расчёта чистой прибыли с учётом себестоимости. Разработанное веб-приложение на Python и Django с интеграцией через Ozon Seller API устраняет выявленные ограничения и сокращает временные затраты на анализ более чем в шесть раз. Перспективные направления развития — поддержка нескольких маркетплейсов и внедрение модуля прогнозирования спроса на основе машинного обучения.

Литература:

1. Что такое e-commerce и как устроена онлайн-торговля. — Текст: электронный. — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/607fe4549a7947027eaffbe6> (дата обращения: 01.08.2026).
2. Как устроены маркетплейсы: тонкости работы и отличия от интернет-магазина. — Текст: электронный. — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6109315b9a79476856b81c3a> (дата обращения: 01.08.2026).
3. Ozon: что это, история создания и владелец компании. — Текст: электронный. — URL: <https://znanierussia.ru/articles/Ozon> (дата обращения: 01.08.2026).
4. Выбираем BI-системы: обзор архитектуры, технологий и выбора. — Текст: электронный. — URL: <https://habr.com/ru/articles/903974> (дата обращения: 01.08.2026).
5. Топ 10 лучших BI-систем: полный обзор, сравнение, рейтинг. — Текст: электронный. — URL: <https://clck.ru/3TasqZ> (дата обращения: 01.08.2026).
6. Python. — Текст: электронный. — URL: <https://www.python.org> (дата обращения: 01.08.2026).
7. Django. — Текст: электронный. — URL: <https://www.djangoproject.com> (дата обращения: 01.08.2026).
8. PostgreSQL: The world's most advanced open source database. — Текст: электронный. — URL: <https://www.postgresql.org> (дата обращения: 01.08.2026).

Оптимизация режимов паровой активации углеродных материалов из прекурсоров растительного происхождения

Сотников Виктор Георгиевич, доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

В статье исследуется процесс оптимизации параметров паровой активации при получении углеродных сорбентов из прекурсоров растительного происхождения (косточки абрикоса, скорлупа кокосового ореха, древесина американского клена, биомасса борщевика Сосновского). Для нахождения оптимальных технологических режимов разработаны математические модели и применены численные алгоритмы, описывающие динамику тепло- и массопереноса в шахтном реакторе. Задание строгих краевых условий позволило определить ступенчатые температурные профили, обеспечивающие направленное формирование микро- и мезопористой структуры при минимизации нецелевого обгара материала.

Ключевые слова: паровая активация, оптимизация режимов, математическое моделирование, численные алгоритмы, шахтный реактор, углеродные материалы, косточки абрикоса.

Введение

В современной химической технологии задача получения углеродных материалов с заданными структурно-сорбционными характеристиками требует перехода от эмпирического подбора параметров к строгому математическому планированию эксперимента. Процесс физической (паровой) активации лигноцеллюлозного сырья представляет собой сложную гетерогенную систему, в которой кинетика химической реакции осложняется внутридиффузионным и внешнедиффузионным торможением [1].

Целью данной работы является расчет и обоснование оптимальных режимов термохимической переработки различных видов растительного сырья (скорлупы кокоса, косточек абрикоса, древесины клена американского и биомассы борщевика Сосновского) на основе математического моделирования процессов тепломассообмена.

Методика оптимизации и математическое моделирование

Оптимизация процесса паровой активации проводилась путем решения многокритериальной задачи, где целевыми функциями выступали максимизация удельной поверхности (БЭТ) и объема целевых пор (микро- или мезопор в зависимости от типа сырья) при ограничении потерь массы (обгар не более 45–50 %).

Для описания процесса были разработаны математические модели, учитывающие аэродинамику потока активирующего агента (водяного пара) и тепловыделение в слое углеродного материала. В основу расчетов легла модель аппарата сушки и активации — шахтного реактора. Особое внимание уделялось формулировке краевых условий, определяющих тепло- и массоперенос на границе раздела фаз «поверхность частицы — парогазовая смесь» [2].

Поиск оптимальных параметров (скорости нагрева, температуры изотермической выдержки на каждой ступени,

расхода пара) осуществлялся с использованием специализированных численных алгоритмов. Решение системы дифференциальных уравнений в частных производных позволило получить пространственно-временные профили температур и концентраций реагентов внутри реактора и определить зоны диффузионного голодания.

Результаты и их обсуждение

Результаты численного моделирования показали, что для плотных материалов (косточки абрикоса и скорлупа кокоса) традиционный изотермический режим активации при 850–900 °С является неоптимальным. Из-за высокого диффузионного сопротивления реакция газификации локализуется на внешней поверхности гранул. Оптимизированный режим, рассчитанный с помощью модели, представляет собой двухстадийный профиль: первая стадия — медленный прогрев до 750 °С (скорость 5 °С/мин) с умеренной подачей пара для вскрытия микропор; вторая стадия — кратковременный (15–20 мин) термический удар при 870 °С с увеличенным расходом реагента для расширения устьев пор [3].

Для прекурсоров с низкой насыпной плотностью и развитой макропористой структурой (американский клен, борщевик Сосновского) математическая модель показала иные оптимальные краевые условия. Для предотвращения проскока пара и неравномерной активации слоя в шахтном реакторе потребовалась корректировка гидродинамического режима. Оптимальная температура активации составила 800–820 °С при непрерывной подаче пара, что обеспечило развитие транспортных мезопор без разрушения углеродного каркаса стеблей борщевика.

Сравнение расчетных данных с результатами натурных экспериментов продемонстрировало высокую сходимость (ошибка не превышает 5–7 %). Применение разработанных численных алгоритмов позволило сократить время выхода на заданные сорбционные параметры и снизить энергозатраты на проведение процесса активации [4].

Таблица 1. Оптимизированные режимы активации и характеристики материалов

Вид прекурсора	Оптимальный температурный режим, °C	Удельная поверхность, м²/г	Преобладающий тип пористости
Косточки абрикоса	Ступенчатый: 750 → 870	1220	Микропоры
Скорлупа кокоса	Ступенчатый: 750 → 880	1290	Микропоры
Клен американский	Изотермический: 820	980	Мезопоры
Борщевик Сосновского	Изотермический: 800	870	Макро/Мезопоры

Заключение

В ходе работы решена задача оптимизации режимов паровой активации углеродных материалов растительного происхождения. Использование математического аппарата для моделирования тепло- и массопереноса в шахтном реакторе с учетом заданных краевых условий доказало свою эффективность. Рассчитанные с помощью численных алгоритмов технологические режимы (температурные профили и расходы пара) позволили направленно формировать микропористую структуру для плотных прекурсоров (абрикосовые косточки) и мезопористую — для рыхлой биомассы (борщевик, клен). Разработанная методология оптимизации может быть ис-

пользована при масштабировании процессов получения активных углей в промышленности [5].

Благодарности

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение № 10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025)

Литература:

1. Safin, R. G. Thermophysical Justification of Slow Conductive Pyrolysis of Plant Raw Materials due to Internal Energy Sources of Thermal Decomposition / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. — 2025. — Vol. 59, No. 4. — P. 954–961. — DOI 10.1134/S0040579525602547
2. Safin, R. G. Characteristics of Granular Activated Carbon Produced from a Mixture of Plant Waste Raw Materials / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. — 2025. — Vol. 59, No. 4. — P. 962–969. — DOI 10.1134/S0040579525602559.
3. Сотников, В. Г. Безотходная технология получения гранулированного активированного угля из каменноугольной мелкодисперсной пыли и отходов органического происхождения / В. Г. Сотников // Уголь. — 2025. — № 11(1199). — С. 20–23. — DOI 10.18796/0041–5790–2025–11–20–23.
4. Сафин, Р. Г. Термическая переработка костры масличного льна в активированный уголь / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // Химия растительного сырья. — 2024. — № 1. — С. 347–353. — DOI 10.14258/jcprm.20240112026.
5. Сафин, Р. Г. Характеристики гранулированного активированного угля из смеси отходов растительного сырья / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2024. — Т. 335, № 7. — С. 196–205. — DOI 10.18799/24131830/2024/7/4386.

МЕДИЦИНА

Роль параоксоназ в ликвидации окислительного стресса и профилактике атеросклероза

Кулиева Амина Рашидовна, студент;

Гагоева Илона Тамазовна, студент;

Доева Виктория Александровна, студент

Научный руководитель: Кайтукова Дзерасса Игоревна, старший преподаватель

Северо-Осетинская государственная медицинская академия (г. Владикавказ)

Атеросклероз лежит в основе развития ишемической болезни сердца, ишемических инсультов и хронической почечной недостаточности, а окислительный стресс является ключевым триггером его прогрессирования. В данном литературном обзоре рассматривается роль семейства ферментов параоксоназ в предотвращении свободно-радикального окисления липидов и подавлении воспалительных реакций в сосудистой стенке. Анализируются механизмы, с помощью которых параоксоназы защищают липопротеины от модификации и снижают риск развития атеросклеротических поражений, что обосновывает их значимость как перспективной терапевтической мишени.

Введение

Свободно-радикальное окисление — это универсальный механизм, необходимый для осуществления физиологических процессов в организме, таких как апоптоз, обезвреживание ксенобиотиков, пролиферация, предупреждение злокачественной трансформации клеток, моделирование активности ферментов дыхательной цепи в митохондриях, дифференцировка клеток и транспорт ионов. *Состояние тканей, которое характеризуется избыточным образованием свободных радикалов, называется окислительным стрессом* [1]. Он лежит в основе молекулярных механизмов, ответственных за развитие многих воспалительных заболеваний, в частности атеросклероза — хронического заболевания артерий, возникающего вследствие нарушения липидного обмена и отложения атеросклеротических бляшек на интиму сосуда. Условия, существенно повышающие риск развития данного заболевания: повреждение эндотелия сосудов, гиперхолестеринемия, модификация липопротеинов, осуществляющаяся при окислительном стрессе активными формами кислорода. Регулирует активность процессов окисления система антиоксидантной защиты, одним из факторов которой являются параоксоназы [14].

Что такое параоксоназы?

Исторически термин “параоксоназа” ассоциируется со способностью плазмы крови млекопитающих (в том числе человека) ферментативно разрушать параоксон

(фосфороорганический инсектицид), многие другие органические фосфаты, а в некоторой степени также и катализировать гидролиз связи Р-Ф в отравляющих веществах типа зарина и зомана. Параоксоназы — это семейство ферментов, представленное тремя членами — PON1, PON2 и PON3, у человека гены всех трех ферментов расположены в длинном плече 7-й хромосомы. Это белки с массой порядка 45 кДа, трехмерная структура которых стабилизирована одной дисульфидной связью (и один свободный остаток цистеина) и представляет собой шестилопастный пропеллер, в активном центре которого находятся ключевые остатки гистидина и связанные ионы кальция [2]. PON регулирует клеточные процессы за счет воздействия на рецепторы, активируемые пероксисомными пролифераторами [1] (PPAR — ядерные рецепторы, выступающие в роли лиганда активируемых факторов транскрипции. Они регулируют энергетический гомеостаз организма, а также участвуют в липидном и углеводном обмене, воспалительных процессах, дифференцировке клеток и других важных биологических функциях [3]). Гены PON1 и PON3 присутствуют практически во всех клетках организма человека, а сами ферменты циркулируют в плазме в состоянии, связанном с липопротеинами высокой плотности (ЛПВП). PON2 является внутриклеточным ферментом и не обнаруживается в плазме [1].

Действие PON1

В настоящее время лучше всего изучена параоксоназа 1 (PON1), которая представляет собой белок, состоящий

из 354 аминокислот с молекулярной массой 43 кДа. PON1 синтезируется в печени и секретируется в кровоток, где почти полностью находится в связанном с ЛПВП состоянии благодаря N-концевому гидрофобному сигнальному пептиду. Связь с ЛПВП необходима для стабильности фермента и моделирования его активности [1]. Их совместное функционирование подтверждает причинно-следственную связь между уровнем PON1, сердечно-сосудистой патологией и связанными с ней воспалительными процессами [4]. Физиологическая роль PON1 заключается в защите ЛПВП и ЛПНП от окисления и в снижении риска развития атеросклеротических повреждений путем разрушения специфических холестерина эфиров и фосфолипидов, содержащихся в окисленных липопротеинах, что снижает их потребление макрофагами [1].

Описана роль PON1 в поддержании эндотелиального атерозащитного эффекта ЛПВП, названного *ЛПВП-зависимой стимуляцией эндотелиальной продукции NO*. Ученые доказали, что фермент PON1 предотвращает образование в ЛПВП малонового диальдегида (MDA). Повышенный уровень MDA в ЛПВП приводит к активации эндотелиального лектин-подобного рецептора 1 окисленного ЛПНП (LOX-1), активации эндотелиальной изоформы β II протеинкиназы C (PKC β II), которая, в свою очередь, ингибирует пути активации eNOS и eNOS-зависимой продукции NO [4]. Основные функции NO: вазодилатация, подавление пролиферации ГМК сосудов, предотвращение тромбообразования путем подавления агрегации тромбоцитов и их адгезии к сосудистой стенке, подавление миграции лейкоцитов [5].

Также исследования показали, что при воспалительных процессах миелопероксидаза (МПО), PON1 и ЛПВП связываются друг с другом, образуя тройной комплекс, где МПО и PON1 частично ингибируют активность друг друга. МПО представляет собой гемсодержащий белок, который находится в лейкоцитах и способствует окислению белков и липидов. При развитии воспалительного процесса МПО связывается с ЛПВП, усиливает окислительный стресс и способствует развитию атеросклероза. Окислитель, образованный МПО, вызывает местную специфическую окислительную модификацию тирозиновых и метиониновых остатков фермента PON1, что приводит к снижению активности PON1.

И наоборот, PON1 связывает и частично ингибирует активность МПО [4]. Снижение в сыворотке крови активности PON1 сопровождается увеличением окислительного стресса и риска развития атеросклероза. В сыворотке концентрация PON1 коррелирует с уровнем холестерина в составе ЛПВП и концентрацией аполипопротеина 1, поэтому достаточная продукция параоксоназы ассоциирована со снижением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [1].

Действие PON2

PON2 является внутриклеточной лактоназой и не присутствует в плазме, самые высокие его концентрации

выявлены в дофаминергических нейронах и в астроцитах, также он обнаружен во многих тканях организма, включая печень, легкие, почки, сердце, поджелудочную железу, тонкий кишечник, мышцы, семенники, эндотелиальные клетки [1]. Несмотря на то, что он не секретируется в плазму, фермент секретируется в просвет кишки, что может вносить вклад в сопротивляемость бактериальным инфекциям [2].

На субклеточном уровне PON2 локализуется главным образом в митохондриях, в которых предотвращает развитие окислительного стресса. Было выявлено, что у самок мышей во всех тканях отмечается более высокая концентрация PON2, чем у самцов. Возможным объяснением является стимулирующее действие эстрадиола на экспрессию PON2 и в связи с этим большая устойчивость женского организма к окислительному стрессу [1].

Доказано, что PON2 связан с внутренней мембраной митохондрий, конкретно с комплексом III (Цитохром-С-оксидоредуктазой), в ряде клеток он связан с коэнзимом Q10 [4,1]. Дефицит фермента PON2 уменьшает активность дыхательного комплекса и приводит к митохондриальному окислительному стрессу в печени, перитонеальных макрофагах и аорте, так как активные формы кислорода (АФК), синтезируемые в митохондриях, являются основным источником образования внутриклеточных свободных радикалов.

Макрофагальный PON2 путем регуляции гомеостаза кальция предотвращает общие механизмы развития стресса эндоплазматического ретикулума, митохондриальной дисфункции и развития атеросклероза [4]. Он не допускает перегрузки кальцием просвета ЭР, которая возникает при действии окисленных липидов (они активируют инозитолфосфатную систему), так как взаимодействует с IP3R (ИФ-3-рецепторами) на мембране ЭР — главными каналами выхода Ca^{2+} из ЭР [6,7].

При окислительном стрессе PON2 снижает чувствительность IP3R к избыточному ИФ-3, не давая Ca^{2+} лавинообразно покидать ЭР. Также, контролируя отток через IP3R, PON2 поддерживает стабильный уровень Ca^{2+} внутри ЭР. Это критично для работы шаперонов, например, кальретикулина и правильного сворачивания белков [6]. PON2 также нейтрализует супероксид у мембраны ЭР, что защищает Ca^{2+} -АТФазы от окисления [8]. Все это предотвращает апоптоз макрофагов, ведущий, при неэффективном фагоцитозе окисленных липопротеинов, к прогрессированию атеросклероза [6].

Действие PON3

PON3 обнаружена в коже, слюнных железах, железах эпителия желудка и кишечника, эндометрии, гепатоцитах, клетках поджелудочной железы, сердце, жировой ткани и в легочном эпителии. В настоящее время доказано антиоксидантное, противовоспалительное и противомикробное действие PON3, осуществляемое за счет блокирования кворумзависимых систем бактерий [1], которые

являются механизмом межклеточной коммуникации последних, зависят от плотности их популяции и основаны на производстве и восприятии химических сигнальных молекул — аутоиндукторов [9].

«Чувство кворума» сильно выражено у некоторых штаммов патогенных бактерий, включая *P. aeruginosa*. Белки PON обладают способностью инактивировать ацилгомосеринлактоны, продуцируемые грамотрицательными микробными патогенами, что положило фундамент для изучения роли параоксоназ в патогенезе инфекционных заболеваний [4]. Фермент PON3 не только гидролизует 3OC12-HSL (3-оксододеcanoил,-1-гомосеринлактон) [10], а также уменьшает окислительный стресс и ингибирует активацию NF- κ B (nuclear factor kappa light chain enhancer of activated B cells) пиоцианином — фактором вирулентности *P. aeruginosa*, что ведет к снижению воспаления [11,12], так как образованный из-за пиоцианина супероксид инактивируется PON3, соответственно меньше образуется NF- κ B и, как следствие, провоспалительных цитокинов (IL-6, TNF- α), молекул адгезии [11].

Это указывает на роль параоксоназы во врожденном иммунитете [13]. Существенно важно ингибирование PON3 активации NF- κ B еще и в случае профилактики атеросклероза, т. к. в макрофагах атеросклеротической бляшки окисленные ЛПНП постоянно активируют данный фактор [12].

Заключение

В заключение хочется подчеркнуть физиологическую роль параоксоназ в метаболизме липидов и профилактике атеросклероза. Параоксоназы способны ингибировать окисление ЛПНП и стимулировать удаление холестерина из макрофагов. Снижение их активности, по аналогии с атеросклерозом, наблюдается при ожирении, сахарном диабете и ряде инфекционных заболеваний, косвенно подтверждая значимость оксидативного стресса в их патогенезе. Разработка методов моделирования активности системы антиоксидантной защиты позволит внедрить эффективные методы первичной профилактики и терапии обменных, пролиферативных и хронических заболеваний [1].

Литература:

1. Боровкова Е. И., Антипова Н. В., Корнеев Т. В., Шахпаронов М. И., Боровков И. М. Параоксоназа: универсальный фактор антиоксидантной защиты организма человека // Вестник Российской академии медицинских наук. — 2017. — Т. 72, № 1. — С. 5–10. — DOI: 10.15690/vramn764. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/paraoksonaza-universalnyy-faktor-antioksidantnoy-zaschity-organizma-cheloveka/viewer> (дата обращения: 27.07.2026).
2. Карлов В. Д., Пестов Н. Б., Шахпаронов М. И., Корнеев Т. В. Интерактом параоксоназы PON2 указывает на новые пути регуляции роста опухолей // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. — 2023. — Т. 510. — С. 235–240. — DOI: 10.31857/S2686738922600984. — URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=danzhiz&year=2023&vol=510&iss=1&file=DANZhiz2260098Karlovpdf> (дата обращения: 27.07.2026).
3. Остапенко В. А., Гришечкина И. А., Викторова И. А. Рецепторы, активирующие пролиферацию пероксисом, и ишемическая болезнь сердца // Омский научный вестник. — 2012. — № 2 (114). — С. 14–17. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/retseptory-aktiviruyuschie-proliferatsiyu-peroksisom-i-ishemicheskaya-bolezn-serdtsa/viewer> (дата обращения: 27.07.2026).
4. Леваков С. А., Шешукова Н. А., Обухова Е. А., Антипова Н. В., Шахпаронов М. И. Роль параоксоназ в патогенезе воспалительных, инфекционных и онкологических заболеваний // Акушерство и гинекология. — 2020. — № 3. — С. 26–32. — DOI: 10.18565/aig.2020.3.26–32. — URL: <https://aig-journal.ru/articles/Rol-paraoksonaz-v-patogeneze-vozpалitelnyh-infekcionnyh-i-onkologicheskikh-zabolevanii.html> (дата обращения: 27.07.2026).
5. Бувальцев В. И. Дисфункция эндотелия как новая концепция профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний // Международный медицинский журнал. — 2001. — № 3. — С. 54–62. — URL: <https://medi.ru/info/9108/> (дата обращения: 27.07.2026).
6. Devarajan A., Grijalva V. R., Bourquard N., Meriwether D., Imaizumi S., Reddy S. T. Macrophage paraoxonase 2 regulates calcium homeostasis and cell survival under endoplasmic reticulum stress conditions and is sufficient to prevent the development of aggravated atherosclerosis in paraoxonase 2 deficiency/apoE^{-/-} mice on a Western diet // Molecular Genetics and Metabolism. — 2012. — Vol. 107, No. 3. — P. 416–427. — DOI: 10.1016/j.ymgme.2012.06.020. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22864055/> (дата обращения: 27.07.2026).
7. Horke S., Witte I., Wilgenbus P., Krüger M., Strand D., Förstermann U. Protective effect of paraoxonase2 against endoplasmic reticulum stress-induced apoptosis is lost upon disturbance of calcium homeostasis // Biochemical Journal. — 2008. — Vol. 416, No. 3. — P. 395–405. — DOI: 10.1042/BJ20080775. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18691157/> (дата обращения: 27.07.2026).
8. Horke S., Witte I., Wilgenbus P., Altmann S., Krüger M., Li H., Förstermann U. Paraoxonase2 reduces oxidative stress in vascular cells and decreases endoplasmic reticulum stress-induced caspase activation // Circulation. — 2007. — Vol. 115, No. 15. — P. 2055–2064. — DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.681700. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17404154/> (дата обращения: 27.07.2026).

9. Rutherford S. T., Bassler B. L. Bacterial quorum sensing: its role in virulence and possibilities for its control // Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine. — 2012. — Vol. 2, No. 11. — P. a012427. — DOI: 10.1101/cshperspect.a012427. — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3543102/> (дата обращения: 27.07.2026).
10. Teiber J. F., Horke S., Wilgenbus P., et al. Dominant role of paraoxonases in inactivation of the *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing signal N(3-oxododecanoyl)homoserine lactone // Infection and Immunity. — 2008. — Vol. 76, No. 6. — P. 2512–2519. — DOI: 10.1128/IAI.01606–07. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18347034/> (дата обращения: 27.07.2026).
11. Schweikert E. M., Amort J., Wilgenbus P., Förstermann U., Teiber J. F., Horke S. Paraoxonases 2 and 3 are important defense enzymes against *Pseudomonas aeruginosa* virulence factors due to their antioxidative and antiinflammatory properties // Journal of Lipids. — 2012. — Vol. 2012. — P. 352857. — DOI: 10.1155/2012/352857. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22570791/> (дата обращения: 27.07.2026).
12. Shih D. M., Xia Y. R., Wang X. P., Wang S. S., Bourquard N., Fogelman A. M., Lusis A. J., Reddy S. T. Decreased obesity and atherosclerosis in human paraoxonase 3 transgenic mice // Circulation Research. — 2007. — Vol. 100, No. 8. — P. 1200–1207. — DOI: 10.1161/01.RES.0000264499.48737.69. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17379834/> (дата обращения: 27.07.2026).
13. Manolescu B. N. Paraoxonases as protective agents against N-acyl homoserine lactone — producing pathogenic microorganisms // Mædica — a Journal of Clinical Medicine. — 2013. — Vol. 8, No. 1. — P. 49–52. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24023599/> (дата обращения: 27.07.2026).
14. Camps J., Marsillach J., Joven J. The paraoxonases: role in human diseases and methodological difficulties in measurement // Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences. — 2009. — Vol. 46, No. 2. — P. 83–106. — DOI: 10.1080/10408360802610878. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19255916/> (дата обращения: 27.07.2026).

ГЕОЛОГИЯ

Полезные ископаемые: перспективы разработок

Чибидин Владимир Сергеевич, инженер (г. Москва)

Обеспеченность компаний отечественными технологиями и ориентирование на долгосрочную стратегию добывающей отрасли — один из факторов гарантии суверенности государства. Развитие человечества непрерывно связано с природной базой. Отдельный минерал мог представлять собой часть горного массива, а затем быть использован как орудие труда. Переделка обычно заключалась в незначительной физической обработке. Взаимодействие человека и природы усложнялось. Сегодня, возможности человека позволяют осваивать ранее недоступные залежи. Актуально изучать взаимодействие ноосферы и литосферы, новые форматы добычи ресурсов.

Ключевые слова: полезные ископаемые, горные породы, схема цементирования горизонтальной скважины, перспективы развития, суверенитет.

Mineral resources: prospects for development

Chibidin Vladimir Sergeevich, engineer (Moscow)

The development of mankind is continuously linked to geographical factors. Minerals, bioresources, rocks, and means of production did not have clear boundaries and distinctions at the initial stages of society's development. A single mineral could represent a part of a mountain range, and then be used as a tool. Alterations usually consisted of minor physical processing. The interaction between man and nature became more complicated and increased. Today, it is important to study the interaction of the noosphere and the lithosphere.

Keywords: minerals, rocks, scheme, wells, development prospects.

Введение

Преобразование природных веществ достигает значительного уровня передела, применяются не только химические, но и атомные преобразования, очистка и воспроизводство новых веществ. Для производства и деятельности человека в материальном и информационном поле, на данный момент, необходимо наличие сырьевой базы, которая преобразуется в средства, носители информации, энергию, материалы. Наличие сырьевой базы, климатических, инфраструктурных ресурсов определяют возможности и преимущества для развития. Изучение горных пород, полезных ископаемых, способов их использования стратегически актуальный вопрос для общества. Анализ возможности и рисков использования западного опыта вопрос стратегической безопасности. Актуально исследовать имеющиеся данные о горных породах и ископаемых, определить перспективы будущих исследований. Задачи работы: исследовать данные о ресурсах и ископаемых, определить перспективные направления развития и исследований, определить возможности

и риски развития. Объект и предмет работы: ресурсы и полезные ископаемые. Цель работы: Исследовать имеющиеся данные о горных породах и ископаемых, определить перспективы будущих исследований.

Методы исследования: анализ литературы, исторический, индуктивный, статистический, иллюстративный методы. В работе рассматривается информация из литературных источников, приведённых в списке библиографии, и данных официальных ресурсов сайтов компаний и учреждений. Видеоматериалы соответствующих исследователей.

Новизна работы заключается в рассмотрении малоизученных вопросов, перспектив, оценке имеющегося потенциала в добычи ресурсов, обозначены схемы разработок. Определены основные направления перспективных разработок и перспективные направления развития.

Совершенствуются технологии добычи ископаемых, увеличивается степень извлечения полезных минералов из породы. Применение новых методов исследований и способов извлечения минералов позволяет обеспечить технологическую базу развития общества.

Основная часть

Тектонические и геологические процессы охватывают масштабы планеты и временные рамки миллиардов лет. Поднимаются и выветриваются горы, эпохи и деятельность океана формируют залежи ископаемых, используя которые, человек редко задумывается о масштабах процессов, которые предшествовали его работе. Ещё меньше озабоченности вызывают вопросы стратегии развития, хотя бы, в рамках двух тысяч ближайших лет. Идеология недавнего времени, формируемая по западным лекалам, преклонение перед западными стандартами и культурой создавало стратегически безответственное отношение к разработке политики отечественных компаний. Разработки, основанные на западных методиках для третьих стран, без необходимых корректировок приводили к зависимости от запада, собственно, для чего изначально и разрабатывались на западе. В стратегически сложных областях, разработки в которых даже на западе возможны в монополиях выводились в область свободной конкуренции, что приводило к зависимости от запада в областях, где необходима технологическая независимость, которую может обеспечить государственное стратегическое долгосрочное планирование и ориентирование на долгосрочные отечественные интересы.

«Нефть — не топливо, топить можно и ассигнациями» говорил о химической ценности ископаемых Дмитрий Иванович Менделеев [3]. Сегодня нефть подвергается глубоким степеням переработки. Возможно, в стратегически далёком будущем минерально-сырьевая база будет использоваться как сырьё для передельного производства, а не для основы топлива. Производство многих веществ для топливной составляющей, возможно, будет воспроизведено экоподобными системами. Многие ответы могут быть найдены в процессах почв, бентоса. Находясь на стыке живого и неживого в почвенном слое воспроизводится формирование многих веществ. Почвы как ресурс относят как к биологическому, климатическому, так и литосферному богатству. В целом невозможно изолированно рассматривать один процесс без взаимосвязей с другими процессами. При разработке месторождений тех или иных ископаемых, отношение их к определён-

ному классу определяется рентабельностью, то есть экономической составляющей, которая зависит от технологических и инфраструктурных возможностей. Понимание комплексности ресурсов и взаимосвязь ноосферы и биосферы выражается в ответственном подходе к экологической безопасности, рекультивации земель, экономических возможностей. Озеленённые терриконы и превращение в зарыбленные озера бывших карьеров свидетельствует о рациональном комплексном использовании ресурсов.

Терриконы, возникающие при снятии верхних слоёв, карьерном способе добычи, представляют меньшую опасность, терриконы образованные после обогащения руды способны к химическому течению реакций внутри террикона, в результате чего возможно выделение веществ и термическая неустойчивость. Создание барьерного слоя над химически активными насыпями, последующая рекультивация и озеленение необходимые экологические мероприятия.

Пример изучения почвенного профиля изображён на рис. 1. На примере изображена почва пластинчатая кремнезёмистой структуры и слой «В» с карбонатными вкраплениями, которые определяются реакцией с кислотой, например уксусной. Количество песчанников определяется скатыванием и рассыпчатостью.

С глубины образцы породы для изучения достают в виде керна с помощью колонкового долота и инструмента, используют также шлам, отобранный на определённой глубине, с помощью изучения породы выявляют ее коллекторские свойства, углеводороды, например дают свечение под ультрафиолетом.

С помощью изучения сейсмических волн, естественных и искусственно создаваемых с помощью взрывов сейсморядов, определяют гипотетическое расположение пластов до начала разработки. Для установки зарядов используют разведочные сейсмические скважины, относительно небольшой глубины. Волны продольные и поперечные распространяются с разной скоростью в пластах с разными коллекторскими свойствами. В разведочных скважинах после отбора керна, применяют различные методы исследования непосредственно в скважине.

Полезные ископаемые, залегающие в доступной глубине для открытого способа добычи, извлекают карьер-



Рис. 1. Исследование почвы и керна. Источники: составлено автором

ерным способом. Нефтяные битумы из песчанников извлекались шахтным способом, доставаемые песчаники термически обрабатывались, разжиженный битум стекал из раздроблённого песчаника. Такой способ добычи был известен ещё до открытия промышленных жидких нефтей, например, возле Ромашкинского месторождения. Сегодня добыча битума ведётся с помощью парогравитационных способов. Битум «выпаривают» из пластов с помощью парных параллельных скважин, с одной подают пар, в другой ведётся отбор. Например, в Ашальчинском месторождении. Схема выщелачивания изображена на рисунке № 2. При экономической целесообразности уже сегодня применяют методы подземного выщелачивания, обычно это залежи на глубинах недоступных для прямого открытого способа. Некоторые минералы, такие как уран, часто добывают скважинным способом с промывным режимом.

Карьерными методами добывают, например, запасы золота в Якутии. Карьерным открытым способом добывается до 90 % руд цветных и черных металлов, до 70 % угля. Строительные материалы добывают открытым карьерным способом. Карьер представляет собой искусственное углубление в земной коре. Подошва которого соединяется с верхним контуром уступами, террасами, обеспечивающими транспорт и устойчивость при разработках бортов. При разработке карьеров добывается горная порода, руда, которая в дальнейшем обрабатывается или используется, если это составная часть строительного материала. Отдельные минералы, крупные самородные элементы, поделочные камни, добываются вручную. Горные породы, используемые в качестве строительного декоративного материала, выпиливаются из массива породы с сохранением текстуры породы, что после обработки придаёт эстетический вид материалу.

Таким образом, в современном производстве используются материалы сырьевой базы открытым карьерным способом, шахтным закрытым способом, скважинной добычей без доступа человека в продуктивный пласт. Взаимодействие и влияние литосферы, ноосферы, гидросферы, биосферы предопределяет наличие большой ответственности при воздействии на природу. Технологическое развитие открывает новые возможности исследования земной коры и способы взаимодействия, добычи полезных ископаемых. Наличие месторождений чистой артезианской воды обеспечивает стратегическую продовольственную безопасность регионов и стран. Обеспечивается сохранность подземных источников качеством подземных работ в особенности изоляционных и цементирования скважин. Перспективны направления исследований мирового океана, большое количество ресурсов находится не только на дне или шельфе океана, но и в виде раствора в океанической воде.

Технологические разработки способны вывести из технологической и экономической зависимости, обеспечить основу стратегического планирования. Для ведения хозяйственной деятельности в современном мире исполь-

зуется различная сырьевая база как непосредственно, так и для создания определённых передельных веществ. Множество веществ, выделяемых из природы человеком принято считать ресурсами. Однако не все ресурсы и сырьё выделяются непосредственно из земной коры, то есть лежат за пределами изучения геологии. Полезными ископаемыми обычно называют ресурсы из области литосферы. Однако, наличие, например, лесов или сельского хозяйства связано с наличием почв. Почвы находят промежуточное положение между неживой и живой природой. Таким образом геологические и климатические факторы определяют возможность наличия большей части необходимых человеку ресурсов.

Горными породами считают природные агрегаты земной коры, а полезными ископаемыми образования земной коры, которые используются в хозяйстве. Горной породой считают, обычно, некую совокупность минералов и веществ в естественно агрегатном состоянии, с вытекающими из этого разносторонними свойствами. Таким образом, под полезными ископаемыми и минералами с практической точки зрения правильнее подразумевать не только твёрдые, но любые ископаемые, которые необходимы в хозяйственной деятельности. То есть ископаемые могут не иметь кристаллической упорядоченной атомной структуры. Классификация горных пород связана с их происхождением: магматические, метаморфические, осадочные. Полезные ископаемые классифицируют по вещественному составу, происхождению и области применения, например: рудные, строительные, топливные.

После отнесения экспертами запасов к определенной категории: А,В,С, достоверные, прогнозные, вероятные. Ведётся подсчёт по объёму. Упрощенная формула подсчёта на формуле 1.

$$V = F \cdot n, \quad (1)$$

Где F — объёмы залежи,

n — коэффициент полезного объема минерала в горной породе

Для определённых условий подсчёты конкретизируются, вносятся поправки. Современные методы компьютерного моделирования позволяют точно производить моделирование запасов на ЭВМ, прокладывать траектории скважин соответственно пластовому залеганию. С развитием разработки месторождений и повышением технологического уровня, породы и пласты, которые ранее не рассматривались как рентабельные, начинают разрабатываться. Например, монарудные залежи, начинают разрабатывать как полирудные с извлечением дополнительных минералов. Трудноизвлекаемые нефти или нерентабельные пласты и залежи используются как рентабельные с помощью современных методов повышения нефтеотдачи. Изучаются возможности дополнительно добывать в газовых, нефтяных, водных скважинах растворённые минералы, уран. Например, методом подземного скважинного выщелачивания. Метод заключается в использовании скважин после извлечения основного

минерального сырья. Через нагнетательные скважины прокачивают растворы щелочи или серной кислоты, в соответствии с содержащимися урановыми минералами. На рисунке 2 упрощенно изображён процесс выщелачивания. По факту на месторождении может быть ряд или поле нагнетательных или добывающих скважин, в соответствии с имеющейся инфраструктурой и геологическими условиями. Особый интерес представляет инфраструктура, разработанная в СССР или перспективная разработка Западной, Восточной Сибири, Сибирском Плоскогорье Якутии, Дальнего Востока.

В современных исследованиях можно наблюдать увеличение использования скважинной добычи не только жидких или газообразных ресурсов, но и твёрдых минералов методами выщелачивания, растворения и выноса на поверхность, где минералы извлекают, а реагенты возвращают в нагнетательные скважины для нового цикла промывки. Понимание химических процессов и капиллярных физических: основа соответствующих разработок. Например, меценат, алхимик Николя Фламель 1330г.р., разрабатывал методы выпаривания минерального золота из царской водки. Современные методы добычи попутных минералов или поэтапное извлечение различных минералов по завершении эксплуатации скважин по основному минералу, например, после четвёртой стадии разработки: одно из перспективных направлений исследований. В недавнем времени добыча жидких ископаемых могла осуществляться карьерным или колодезным способом. Разные методы строительства скважин разрабатывались в разных странах, например, в Баку (Российская Империя), Техас, Пенсильвания (США), Перпиньяна (Франция).

Французский инженер Пьер-Паскаль Фовель использовал при бурении 219 метровой скважины под артезиан-

скую воду промывку для очистки от шлама. Впервые запатентовал систему с полыми штангами для циркуляции и систему промывки в 1833–1844 году. Тем или иным способом производилась копка и обустройства скважин для воды и нефти во многих регионах, однако впервые была запатентована система искусственной циркуляции. Это время принято считать революционной отправной точкой в инженерно полноценном бурении скважин. До этого времени техника не позволяла создавать подобные системы. Схема горизонтальной скважины с основными зенитными стратиграфическими параметрами (вертикальный профиль) представлена на рисунке 3. Представленная схема отражает антиклинальное залегание пластов, непроницаемые пласты образуют крышу пласта, под которой в коллекторных породах существуют флюиды. Антиклиналь представляет собой складку пластов на глубине.

На рисунке 3 обозначены следующие метрические параметры: h_p — высота ротора, l ст — длина ствола с учетом реальной траектории, h верт. — глубина по вертикали, глубины кровли и подошвы пласта, h_y — высота устья над уровнем моря.

Объем цилиндрических частей считается по формуле:

$$V = 0,785 \times d^2 \times l$$

Где V — объем, l — длина по стволу (инструменту), d — диаметр.

Объем внешних полых цилиндрических объемов считается, как разность внешнего и внутреннего объема.

Давления считаются соответственно вертикальных глубин, то есть нужно учитывать корректирование на отклонение от вертикали. Учитывать необходимо поправки на динамическое сопротивление и сжатие жидкости, а также эффект поршневания и инерцию массы жидкости

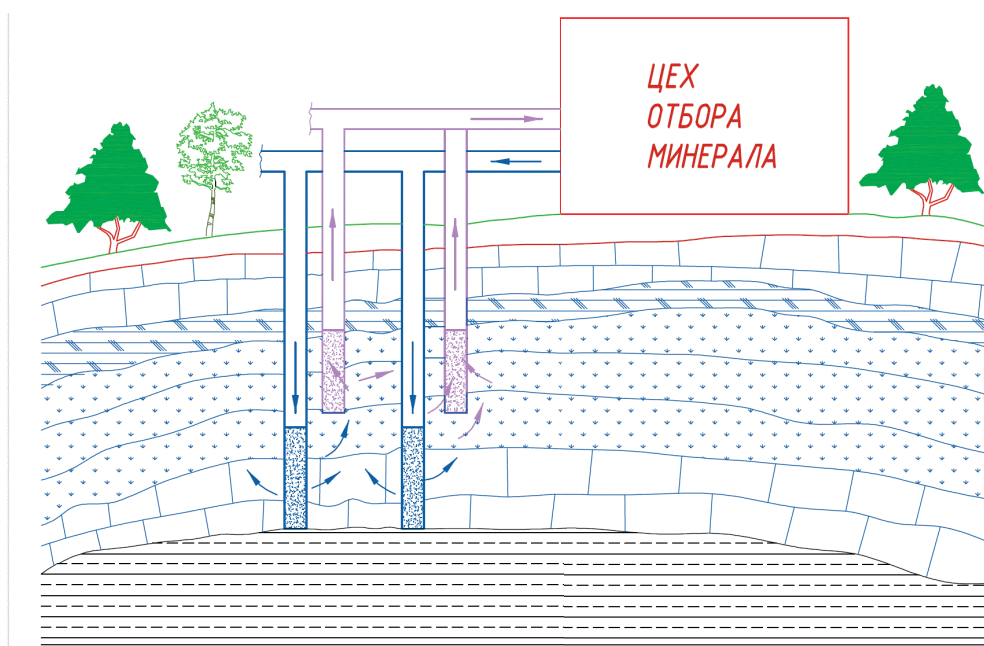


Рис. 2. Схема подземного скважинного выщелачивания с помощью нагнетательных и добывающих скважин.

Источник: составлено автором

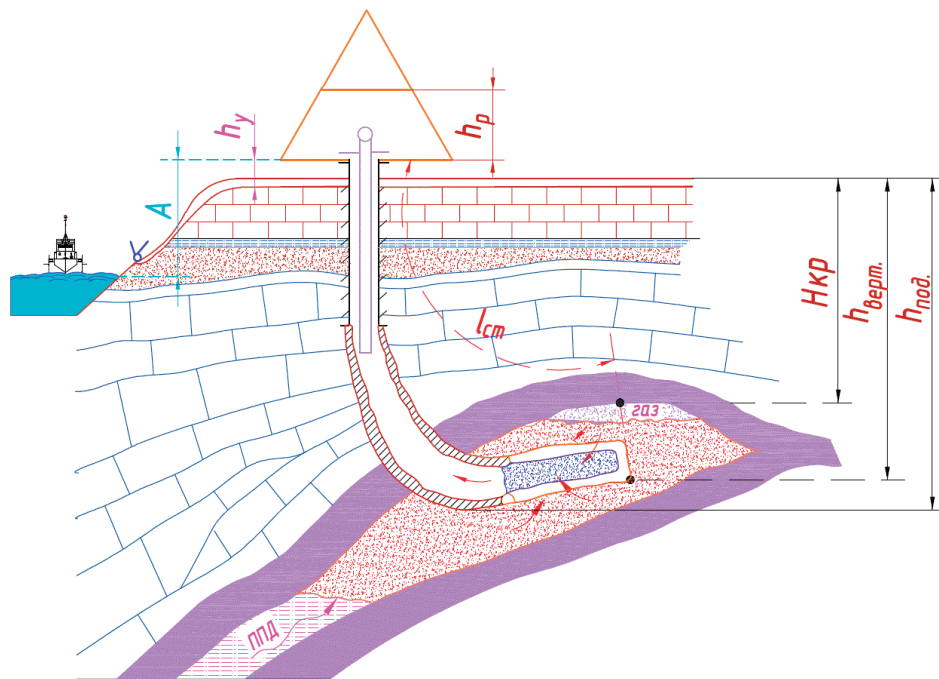


Рис. 3. Схема геологического профиля скважины с горизонтальным стволом. Источники: составлено автором

и металла. Учитывают также коэффициенты запаса. Формула давления с различными преобразованиями и коэффициентами выглядит как произведение плотности, глубины, ускорения свободного падения, коэффициента сопротивления и запаса. Необходимо, учитывать слои разной по плотности и вязкости жидкости, возможный слой газирования. При операциях- возможность менять плотность жидкости с определённой глубины, ограниченной глубиной спуска инструмента, например, при глушении и необходимости объёмных методов, целесообразность и устойчивость пластов.

Во время строительства первых скважин с увеличением глубины, возрастало количество пластов с разной пластовой энергией и составом насыщенности, возникал вопрос разобщения коллекторных пластов. Без соответствующей изоляции артезианская вода, нефть или другие минералы, попадая в вышележащий интервал устремлялись в коллекторные пласты. Кроме того, возникало размытие скважины, засорение ствола и флюида. Уже в 1905 году, русским инженером Адамом Александровичем Богушевским было произведено цементирование заколонного пространства скважины с использованием двух пробок. Затем технология была запатентована. Издревле в качестве цемента использовалась обожженная известь, в 1584 году на Руси создан «Каменный приказ», учреждение, занимающееся каменными работами. Цемент на основе обожженной (отделение углекислоты) извести и глины, как основа современных цементов запатентован в 21 октября 1824 года, Джозефом Аспдином. Основная схема одноступенчатого цементирования Богушевского с некоторыми дополнениями используется и в современных способах. В современных методах повышения отдачи пла-

стов и нефтеотдачи большое значение имеет применение бурения боковых стволов, горизонтальных стволов, что позволяет в большей степени обеспечить площадь фильтрации из пласта. Когда небольшой по толщине пласт проходится скважиной не по вертикали, а по горизонтали, то есть параллельно наибольшей протяжённости пласта. Кроме того, инфраструктура на месторождении с использованием наклонных скважин обеспечивает равномерное распределение на глубине в интервале продуктивных пластов. На рисунке 4 представлена примерная схема цементирования горизонтального участка, а на рисунке 5 примерная схема соответствия инфраструктуры месторождения (кустового расположения) и реальных фильтрационных участков скважин по азимуту.

На рис.4 изображены стадии цементирования хвостовика в упрощённом виде, 1- промывка, 2 — начало продавки и движение верхней пробки, 3- схождение верхней и нижней пробки, 4- движение пробок и продавка цемента, 5- посадка пробок и завершение процесса, 6 — после освоения. Цифрами 1–2–3 изображены пробки и посадочное место.

Современные методы повышения нефтеотдачи пластов позволяют располагать скважины параллельно пластовому залеганию с высокой точностью. Моделирование залежи и проводка горизонтальной скважины по пласту с высокой точностью, её последующее цементирование, возможно выполнять с помощью современного оборудования и вычислительных систем, например, «Геонавигация» (рис 6).

Технологические разработки представляют интерес для конструкторского осуществления при импортозамещении, развитии отечественной промышленности. За-

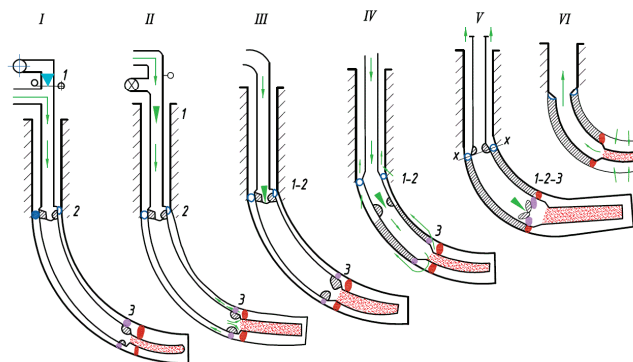


Рис. 4. Схема цементирования горизонтального хвостовика скважины. Источники: составлено автором

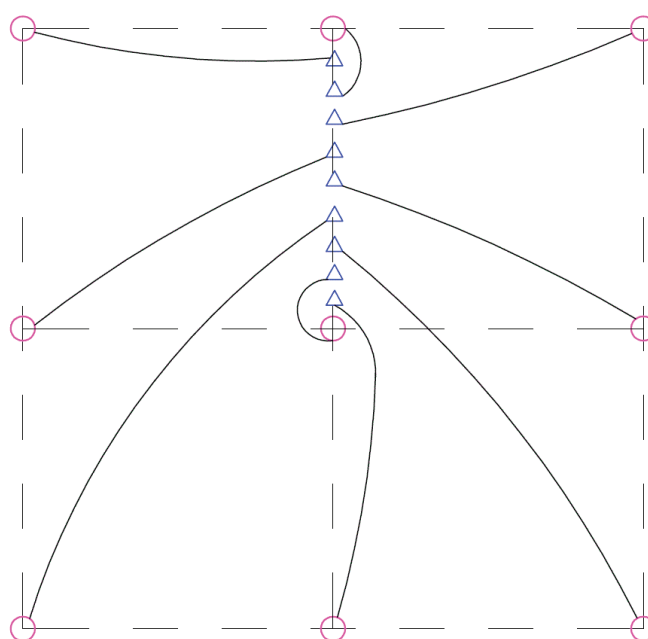


Рис. 5. Схема инфраструктуры устьев скважин на месторождении и азимутального пластового расположения фильтров. Источники: составлено автором

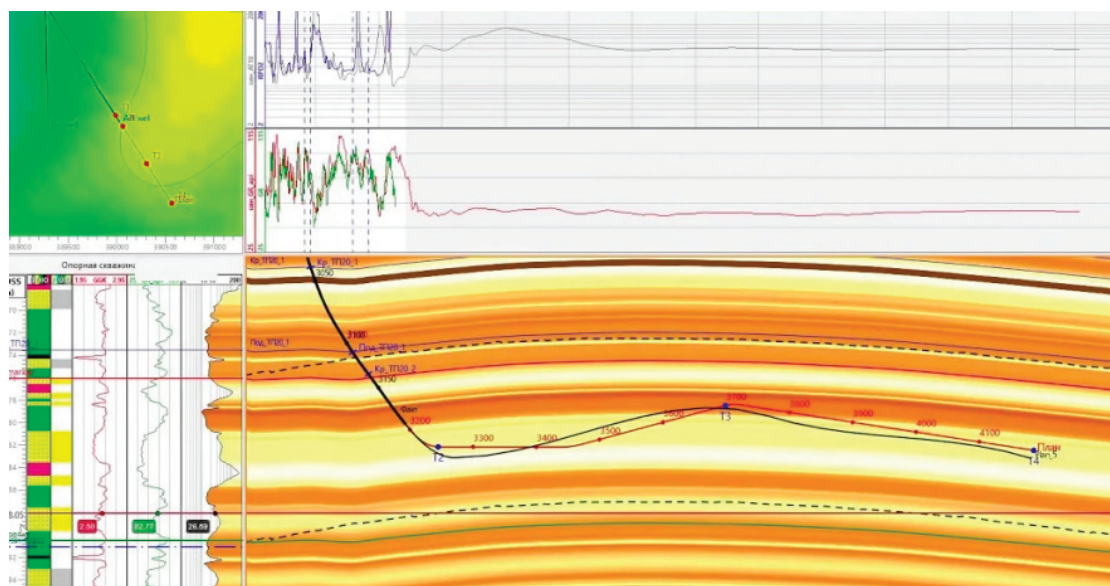


Рис. 6. Моделирование пластового залегания. Источники: кадр на основе программного обеспечения геонавигации

падные разработки на организационном уровне представляют опасность для государственной безопасности, так как ориентированы на западное доминирование за пределами стран метрополий. Многие российские компании перенимали весь имеющийся опыт без должного анализа безопасности и адаптации к суверенному использованию, для которого необходима соответствующая технологическая база, планирование, государственное управление и контроль взаимодействия участников, а также целевой анализ информационных и организационных заимствований, их адаптация и переосмысление. Последнее время многое делается для повышения суверенности в организации, экономике, управлении, технологической базе.

Таким образом, в перспективе возможно использование инфраструктуры месторождений при повышении рентабельности извлекаемых минералов. С увеличением суверенной технологической базы, увеличением рентабельности, возрастают возможности обеспечения соответствующей технической базы. Инфраструктура добычи одних ископаемых может быть использована для увеличения добычи или использования для добычи других вторичных ископаемых, которые ранее не рассматривались как запасы способные к извлечению. Однако, необходимо стратегически обоснованное планирование, исключение факторов рыночного конкурентного влияния на принятия решений стратегического масштаба.

Заключение

Опыт исследования земной коры, горных пород, ресурсов, показывает, что происходит постоянное развитие понятий о полезных ископаемых. Совершенствуются технологии добычи, увеличивается степень извлечения полезных минералов из породы. Совершенствуются способы рекультивации земель. Открываются новые возможности и инфраструктура для разработки. Применение новых ме-

тодов исследований и способов извлечения минералов позволяет обеспечивать развитие человеческого общества.

Однако, конкуренция на мировом рынке создаёт политические факторы технологического введения в зависимость стран, которые не способны осуществить независимую технологическую стратегию. Организационные моменты зачастую несут в себе скрытые угрозы, направленные на устранение конкурентов. В связи с чем взаимное сотрудничество должно рассматриваться с точки зрения наличия рисков стратегической, организационной, технологической безопасности. Организация, охрана труда, технология, стратегические вопросы политики компаний, создаваемых по западным лекалам, несут в себе скрытые угрозы, которые заложены конкурентными стремлениями западных компаний и стремлению к доминированию. Однако, тенденции суверенного преобразования и платформенной экономики создают противоречивые возможности для развития ресурсной базы в интересах отечества.

Основным показателем к переоценке запасов тех или иных ресурсов является рентабельность извлечения, которая естественно должна быть выше чем затраты на разработку. Использование новых методов, позволяет увеличивать стратегическую ресурсную базу. Перспективное развитие отечественной промышленности возможно только на основе самостоятельной отечественной политики компаний, необходимы механизмы защиты от избыточной конкуренции и стратегически обоснованное планирование. Соответствующая техническая база и освоение новейших технологий позволяют разрабатывать месторождения на суше и море, увеличивать ресурсную базу в соответствии с техническими возможностями. То есть, наличие технологий, ресурсная база, государственное участие и суверенность имеют вполне реальную взаимосвязь и влияние на перспективы развития добывающей промышленности, общества и отечества.

Литература:

1. Богушевский, А. А. К вопросу о затоплении водой бакинских нефтяных промыслов: О цементировании (там-понаже) нефтяных буровых скважин / Горн. инж. А. А. Богушевский. — Санкт-Петербург: тип. П. П. Сойкина, 1909. — [1], 30 с., 3 л. схем; 26.
2. Иванова Т. Н., Красноперова С. А. Развитие технологий бурения недр // Управление техносферой: электрон. журнал. 2019. Т. 2, Вып. 1. С. 47–62.
3. Чугаев, Лев Александрович. Дмитрий Иванович Менделеев: Жизнь и деятельность / Проф. Л. А. Чугаев. — Ленинград: Науч. хим.-техн. изд-во, 1924. — 58 с., 1 л. портр.; 24 см.
4. Чибидин, В. С. Вопросы организации экономических систем и классификации стран / В. С. Чибидин // Финансовая экономика. — 2024. — № 12. — С. 175–177.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Анализ медопродуктивности буквицы лекарственной

Тришина Ольга Николаевна, научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный научный центр пчеловодства» (г. Рыбное, Рязанская область)

Статья посвящена анализу медопродуктивности буквицы лекарственной. Буквица — хороший медонос, поэтому является перспективной культурой для пчеловодства.

Ключевые слова: буквица лекарственная, перспективная культура, медопродуктивность.

Буквица лекарственная — многолетнее травянистое растение семейства Яснотковых с прямостоячим стеблем высотой до 100 см., с пурпурными цветками. Листья супротивные, продолговато-яйцевидные, сердцевидные при основании, городчатые по краю, прикорневые и нижние стеблевые — длинночерешковые, верхние — короткочерешковые. Цветки двугубые, длиной до 17 мм, собранные в ложных мутовках на верхушке стебля. Широко распространена в европейской части, на Кавказе, в Западной Сибири [1, с. 21], [2, с. 286]. Растет на умеренно влажных и сыроватых лугах, лесных опушках и полянах. Может приспосабливаться к разному уровню кислотности — хорошо растёт как на почвах с нейтральной, так и на слегка кислой или слегка щелочной реакцией (в диапазоне примерно от 6,5 до 8,0). Не любит застой воды: буквица может перенести временную засуху, но вымокание корней для нее пагубно. Размножается семенами. Они выглядят как небольшие орешки — продолговатой формы, трехгранные с гладкой поверхностью, бурого цвета. Особенность плода заключается в том, что каждый такой орешек односемянный, и в плоде их обычно четыре штуки. Цветение приходится на июнь-сентябрь, плодоносит в августе.

Буквица лекарственная применяется в разных сферах — народная медицина (средства на основе буквицы применяют при: заболеваниях дыхательных путей, проблемах с пищеварением, сердечно-сосудистых и нервных расстройствах) [3, с. 63]; используется в ландшафтном дизайне. Растение оказывает противовоспалительное, общеукрепляющее, противоопухолевое, спазмолитическое и антимикробное действие. Также буквицу культивируют как декоративное красивоцветущее растение.

Является неплохим медоносом — один ее цветок за сутки выделяет до 0,25 мг сахара в нектаре, одно растение до 70 мг, а 1 га сплошного посева до 130 кг. Пчелы охотно посещают цветки буквицы в жаркое время дня и особенно в засуху.

На опытном участке ФНЦ пчеловодства г. Рыбное буквица лекарственная произрастает на протяжении нескольких лет. Это растение привлекает медоносных пчел и других опылителей высоким содержанием нектара и пыльцой. Один цветок буквицы производит около 0,2 мг нектара, а всё растение — примерно 226 мг. В нектаре содержится 59,3 % сахара. Пыльник одного цветка даёт около 0,2 мг пыльцы, а всё растение — примерно 330 мг. Пыльца является важным белковым кормом для пчёл, особенно в начале сезона, когда других источников пыльцы мало.

В 2026 году были проведены исследования с буквицей лекарственной, целью которых было выявить ее медовую продуктивность. Цветение буквицы началось 16 июня, а закончилось 31 июля. За все время цветения были 3 раза взяты пробы с цветков. Полученные данные представлены на рис.1.

На рис. 1 мы видим, что наибольшая медопродуктивность была получена в самом начале цветения и составила 183,57 кг/га. В середину цветения мы наблюдаем небольшой спад — 170,91 кг/га, что в 1,07 раза меньше, чем в начале. И конец цветения показывает нам результат 145,59 кг/га.

По-другому можно выразить в процентах. Возьмем показатели медопродуктивности в начальную фазу цветения за 100 %, тогда в середину цветения медопродуктивность снизится на 7,4 %, а в конце еще на 17,4 %.

В таблице 1 отображены показатели сахаропроодуктивности и медопродуктивности буквицы. Наивысшая продуктивность отмечена 17 июня — 95,45 кг/га сахарная и 119,31 кг/га медовая. Далее, по мере продолжения цветения, наблюдается постепенное снижение: в 1,07 раза 16 июля и в 1,17 раза 30 июля.

Во время всего цветения наблюдалась высокая активность пчел на соцветиях буквицы. Особенно она была привлекательна в начале цветения — 18 особей на 1 м², чуть снизилась посещаемость 16 июля — 15 шт/м² и на 30 июля (конец цветения) насчитывалось 10 медоносных пчел.

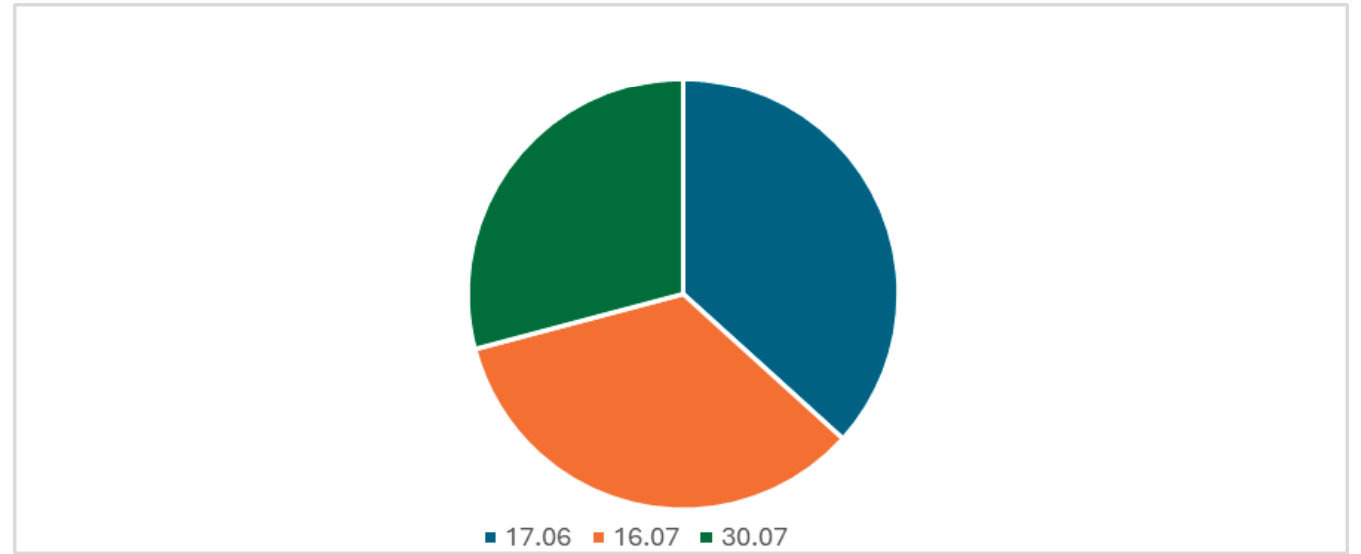


Рис. 1. Нектаропродуктивность буквицы лекарственной, кг/га

Таблица 1. Показатели медо- и сахаропродуктивности буквицы лекарственной в 2026 году

Культура	Дата взятия проб	Температура воздуха	Влажность воздуха	Сахаропродуктивность, кг/га	Медопродуктивность, кг/га
Буквица лекарственная	17.06	26 °С	47 %	95,45	119,31
	16.07	19 °С	73 %	88,87	111,08
	30.07	17 °С	83 %	75,70	94,62

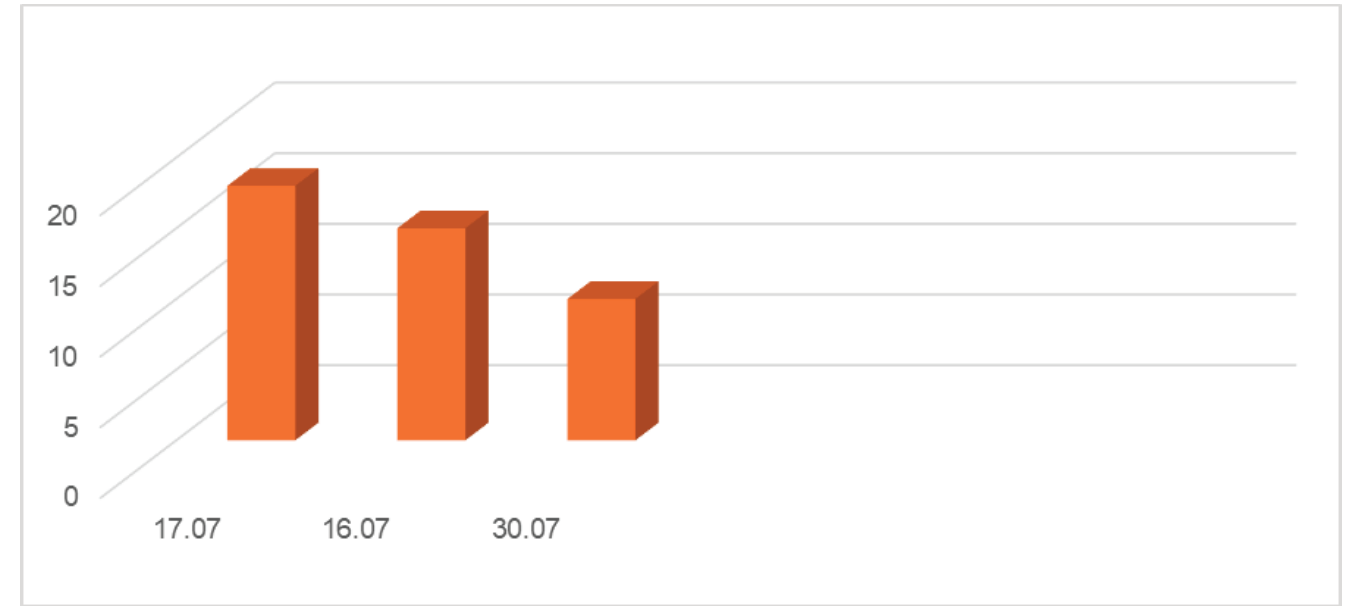


Рис. 2. Посещение медоносными пчелами, шт/м2

Проведя научное исследование и получив результаты, можно прийти к выводу, что наибольшая медопродуктивность наблюдалась в начале цветения и составила 119,31 кг/га. Наименьшая пришлась на конец цветения — всего 94,62 кг/га.

Литература:

1. Нектароносные растения Рязанской области и их пыльца/ Н. И. Кривцов, А. П. Савин, С. В. Полева [и др.]. — Рыбно: ГНУ НИИП Россельхозакадемии, 2007. — 288 с.
2. Дикорастущие полезные растения СССР/ И. А. Губанов, И. Л. Крылова, В. Л. Тихонова. — Москва: Мысль, 1976. — 360 с.
3. Валеева Ю. Р. Изучение лекарственного потенциала буквицы лекарственной (*Betonica officinalis* L.). / Ю. Р. Валеева, С. С. Зыкова, З. В. Касьянов // Сборник научных трудов по материалам научно-методической конференции. — Москва: ООО «Русайнс», 2023.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Совершенствование системы государственного управления в области образования лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью (на примере Санкт-Петербурга)

Гордиенко Татьяна Вадимовна, студент магистратуры
Тольяттинский государственный университет (Самарская область)

В публикации на основе массива статистических и отчетных данных за 2020–2025 гг. проанализированы ключевые векторы эволюции системы образования для несовершеннолетних с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалидностью в Санкт-Петербурге. Рассмотрены нормативно-правовые основания, выявлены сохраняющиеся противоречия, оценена динамика охвата услугами ранней помощи, доступности дошкольного и школьного звена, кадрового и финансового обеспечения. Предложены направления совершенствования управленческой модели.

Ключевые слова: ОВЗ, инвалидность, Санкт-Петербург, коррекционная педагогика, раннее вмешательство, инклюзия, кадровый дефицит, межведомственное взаимодействие.

Право на образование, закрепленное в ст. 5 Федерального закона № 273-ФЗ, распространяется на всех граждан, включая лиц с ОВЗ и инвалидностью. В ст. 79 того же акта указано, что «условия организации обучения и воспитания обучающихся с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов определяются в рекомендациях психолого-медико-педагогической комиссии, также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации и абилитации инвалида» [1]. Однако реализация этих норм сталкивается с серьезными препятствиями.

Анализ литературы позволил выделить несколько групп проблем. В правовой сфере отмечается «недостаточная проработанность мер по реорганизации учебных заведений в рамках проводимой реформы образования, нехватка целевого финансирования для создания условий полноценной инклюзии, неготовность учебных заведений к тому, чтобы применять существующие нормы на практике и адаптировать текущий учебный процесс под нужды лиц с ОВЗ» [2].

В организации обучения выявлены «недостаточный уровень знаний педагогов в вопросах обучения и воспитания детей с ОВЗ, отсутствие или недостаточная организация безбарьерной среды в образовательных учреждениях, низкий уровень социального партнерства образовательных учреждений» [3], а также «ограниченность сервиса систем социальной реабилитации и образования» [4].

В сфере ранней помощи присутствует «отсутствие механизма включенности ранней помощи в общую систему образования, малочисленность и разобщенность служб

ранней помощи» [2]. В диагностике фиксируются «разногласия в диагнозах, в определении статуса инвалидности, в актуальном состоянии развития учащихся, несогласованность действий разных комиссий» [5].

Следствием является то, что дети с ОВЗ «зачастую оказываются вне системы всесторонней комплексной помощи и поддержки, что влечет за собой снижение качества и доступности образовательных услуг» [6]. Как констатируется, «на практике дети-инвалиды далеко не всегда могут в полной мере реализовать право на образование, гарантированное Конституцией Российской Федерации» [7]. В этой связи государственное управление образованием должно обеспечивать «формирование долгосрочной, динамически устойчивой траектории развития для образовательной системы» [8].

На начало 2024 года в России насчитывалось 755 тыс. детей-инвалидов [9]. Санкт-Петербург традиционно входит в число регионов с высокой численностью этой категории. Согласно определению, «обучающийся с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) — это физическое лицо, имеющее недостатки в физическом и (или) психологическом развитии, подтвержденные психолого-медико-педагогической комиссией (ПМПК) и препятствующие получению образования без создания специальных условий» [1].

Региональная система базируется на трех принципах: раннее выявление нарушений, интеграция в общий образовательный процесс и межведомственное взаимодействие. Ключевым звеном стала сеть служб ранней по-

мощи. До 2020 года действовала Концепция развития ранней помощи (распоряжение Правительства РФ от 31.08.2016 № 1839-р) [11]. С 2021 года вектор задала новая Концепция, нацеленная на «развертывание инфраструктуры, обеспечивающей комплексную абилитацию и реабилитацию инвалидов, включая детей-инвалидов» [12].

Эти структуры предоставляют «медицинскую, социальную (социально-бытовую, социально-средовую, социально-психологическую и социально-педагогическую), социокультурную, психолого-педагогическую, профессиональную, физическую помощь» [12]. На 2024–2025 учебный год в городе функционирует 48 служб. За анализируемый период количество таких структур увеличилось

более чем вдвое, а число обслуженных детей выросло пропорционально. В 2024 году объем услуг вырос на треть по сравнению с 2020 годом; помощь получили 723 ребенка [13]. Формы работы включают «индивидуальные и групповые занятия с участием родителей, тренинги, консультации, домашнее визитирование, дистанционное сопровождение» [13].

В 2025 году сеть ПМПК в Санкт-Петербурге и Ленинградской области насчитывает 20 территориальных комиссий в городе и 13 пунктов в области [14]. По данным отчета о реализации Межведомственного комплексного плана [15], динамика охвата детей с ОВЗ образовательными услугами представлена в таблице 1.

Таблица 1. Измерение степени покрытия образовательными услугами детей, имеющих ОВЗ, в Санкт-Петербурге (2022–2024 гг.)

Показатель	2022–2023 учебный год	2023–2024 учебный год	2024–2025 учебный год	Изменение 2022–2024 гг.
Дошкольное образование				
Численность детей с ОВЗ в ДОУ, чел.	36317	38833	38262	+5,4 %
Доля детей с ОВЗ в ДОУ, %	13,5 %	14,6 %	15,5 %	+2,0 п.п.
Количество групп компенсирующей направленности	2588	2588	2777	+7,3 %
Количество групп комбинированной направленности	209	209	255	+22 %
Школьное образование				
Всего обучающихся с ОВЗ, чел.	24791	25658	27574	+11,2 %
Доля обучающихся с ОВЗ, %	4,2	4,4	4,6	+0,4 п.п.
Обучаются инклюзивно, чел.	1203	1632	2247	+86,8 %
Количество коррекционных классов	487	503	587	+20,5 %
Количество отдельных школ для детей с ОВЗ	56	56	56	–

На основе данных Комитета по образованию [16] выявлены следующие финансовые и инфраструктурные тенденции:

Ежегодное финансирование регионального этапа конкурса для лиц с ОВЗ и инвалидностью «Абилимпикс» сохраняется стабильным — 26,675 млн руб.

С 2024 года впервые введена отдельная статья расходов на обновление материально-технической базы коррекционных учреждений в размере 123,4 млн руб., что расценивается как свидетельство повышенного внимания региональных властей к нуждам этих организаций.

Доступность объектов образования: доля зданий, где обеспечен доступ к услугам и приняты меры, составляет 94,9 % среди ДОУ и 93,8 % среди школ, однако полная доступность для всех категорий охватывает лишь 5,1 % детских садов и 6,2 % школ [13].

На дистанционное образование ежегодно выделяется 27,581 млн руб. — стабильный уровень.

На специальные учебники для учащихся с ОВЗ направлено 15,88 млн руб., потребность закрыта полностью;

доля детей, пользующихся обычными учебниками, равна 66,9 % [13].

В 2024 году региональный реестр организаций детского отдыха пополнился 273 учреждениями. Детям-инвалидам предоставлено 8837 путевок за счет бюджета Санкт-Петербурга (на 7,4 % меньше из-за отказов от путевок в Краснодарский край и Республику Крым). В летних инклюзивных сменах в оздоровительных комплексах Ленинградской области отдохнули 1563 человека, в том числе 750 детей-инвалидов с сопровождающими. Организованы специализированные смены для детей с целиакией, сахарным диабетом и фенилкетонурией [13].

Кадровая ситуация на конец 2024 года: 1285 учителей-дефектологов, 3275 учителей-логопедов, 1976 педагогов-психологов, 309 тьюторов. Дефицит специалистов сохраняется [13].

На 2024–2025 учебный год 478 детей-инвалидов, проживающих в пяти домах-интернатах для детей с отклонениями в умственном развитии (ДДИ), получают образование: 222 человека — по классно-урочной системе,

256 — на дому. Для 58 совершеннолетних инвалидов в психоневрологических интернатах (ПНИ) организовано обучение педагогами четырех школ в специально оборудованных помещениях [13].

Выявлена резкая негативная динамика: субсидии психолого-педагогическим и медико-социальным учрежде-

ниям сократились на 89,59 % в 2024 году по сравнению с 2023-м, что может негативно сказаться на доступности социальных услуг.

По результатам анализа сформированы следующие зоны риска и рекомендуемые меры, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Ключевые проблемы и способы их решения

Зоны риска	Рекомендуемые меры
Отсутствие равномерности в финансовом обеспечении федеральных инициатив в сфере поддержки детей с ОВЗ (плавающие объемы выделяемых ресурсов, вероятность потери преемственности в оказании помощи)	Формирование дополнительного проектного направления «Поддержка и развитие коррекционной образовательной среды для лиц с ОВЗ и инвалидностью» рассматриваемого к интеграции в государственную программу «Развитие образования Санкт-Петербурга»
Дефицит межведомственной координации (сложности взаимодействия между образованием, здравоохранением и социальной защитой)	Построение модели организационно-управленческого механизма межведомственного взаимодействия органов исполнительной власти, образовательных организаций и служб ранней помощи, направленного на реализацию принципа непрерывности государственной поддержки
Отсутствие унифицированных инструментов оценки эффективности деятельности государственных органов в сфере специального (коррекционного) образования	Создание методики для оценки того, насколько эффективно государственные органы обеспечивают специальное (коррекционное) образование
Необходимость прогнозирования результатов внедрения управленческих решений (обоснование целесообразности изменений)	Предварительная оценка возможных социально-экономических эффектов, ожидаемых от внедрения комплекса предложений, направленных на совершенствование системы организации коррекционного (специального) образования

Постановлением Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 утверждена государственная программа «Развитие образования», направленная на «повышение доступности, эффективности и качества образования», а также «развитие человеческого потенциала, укрепление традиционных российских духовно-нравственных ценностей, культуры и исторической памяти» [10]. Ее четыре цели:

- рост занятости выпускников СПО по специальности;
- равный доступ к качественному общему образованию;
- формирование системы выявления и поддержки талантов;
- выравнивание стартовых возможностей дошкольников [10].

На региональном уровне действует государственная программа Санкт-Петербурга «Развитие образования в Санкт-Петербурге» (постановление от 04.06.2014 № 453 с изменениями) [17]. Она включает шесть подпрограмм: «Развитие дошкольного образования», «Развитие общего образования», «Развитие среднего профессионального образования», «Развитие дополнительного образования детей», «Отдых и оздоровление детей и молодежи», «Обеспечение реализации государственной программы». Также реализуются три региональных проекта: «Профессионалитет», «Педагоги и наставники», «Все лучшее детям» [17].

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. С одной стороны, за 2017–2025 гг. в Санкт-Петербурге достигнуты ощутимые успехи: расширилась сеть служб ранней помощи, почти вдвое возросла численность инклюзивно обучающихся школьников с ОВЗ, впервые появилось целевое финансирование обновления материально-технической базы коррекционных учреждений (123,4 млн руб. с 2024 года). С другой стороны, сохраняются системные проблемы: дефицит кадров, крайне низкая доля зданий с полной безбарьерной доступностью (5–6 %), а также резкое сокращение субсидий на психолого-педагогическое и медико-социальное сопровождение.

Логическим следствием выявленных противоречий является необходимость внедрения дополнительного проектного модуля «Поддержка и развитие коррекционной образовательной среды для лиц с ОВЗ и инвалидностью» в рамках государственной программы «Развитие образования Санкт-Петербурга» на период 2027–2030 гг. Реализация этого модуля, основанного на принципах межведомственной комплексности и непрерывности сопровождения, позволит преодолеть разрозненность существующих мер и обеспечить стабильный переход от фрагментарной помощи к целостной, управляемой системе коррекционного образования. Предложенный подход имеет практическую значимость для совершенствования регионального управления и может быть тиражирован в других субъектах Российской Федерации.

Литература:

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 279-ФЗ. — Текст: электронный // Гарант: справочно-правовая система: [сайт]. — URL: <https://ivo.garant.ru/#/document/70291362/paragraph/1:0/> (дата обращения: 08.06.2026).
2. Ерохина, О. В. Инклюзивное образование в России: в начале трудного пути / О. В. Ерохина. — Текст: непосредственный // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. — 2015. — № 3(19). — С. 15–22.
3. Пушкарева, А. А. Управленческие решения проблем инклюзивного образования / А. А. Пушкарева, С. Н. Юревич. — Текст: непосредственный // Мир детства и образование: Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 25–26 апреля 2024 года. — Магнитогорск: Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова, 2024. — С. 101–102.
4. Мансуров, С. А. Управление образовательной организацией в условиях реализации инклюзивного образования / С. А. Мансуров, Т. Р. Тенкачева. — Текст: непосредственный // Педагогическое образование в России. — 2019. — № 1. — С. 113–117.
5. Барина, Е. Б. Особенности реализации инклюзивного образования в Российской Федерации на современном этапе / Е. Б. Барина. — Текст: непосредственный // Современное образование. — 2020. — № 1.
6. Бутко, Г. А. Развитие системы ранней комплексной помощи детям с ограниченными возможностями здоровья в учреждениях образования и здравоохранения / Г. А. Бутко, Т. А. Кательсон, С. П. Олту. — Текст: непосредственный // Вестник Мининского университета. — 2019. — № 4(29). — С. 5.
7. Shakhova, E. V. The problem of education and employment of the visually impaired in Russia / E. V. Shakhova. — Текст: непосредственный // Актуальные исследования. — 2023. — № 11–1(141). — С. 55–57.
8. Позднякова, Е. В. Государственное управление образованием / Е. В. Позднякова. — Текст: непосредственный // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. — Юридические науки. — 2021. — № Т. 7 (31). № 3. Ч. 1. — С. 37–40.
9. Российский статистический ежегодник. — Текст: электронный // Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации: [сайт]. — URL: <https://youthlib.mirea.ru/ru/resource/6570?ysclid=mh8x-ugqdy0353191568/> (дата обращения: 08.06.2026).
10. Постановление Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие образования». — Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286474/cf742885e783e08d9387d7364e34f26f87ec138f/ (дата обращения: 08.06.2026).
11. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31.08.2016 № 1839-р «Об утверждении Концепции развития ранней помощи в Российской Федерации». — Текст: электронный // КонтурНорматив: [сайт]. — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=279434&ysclid=mnn6628sy1422765391/> (дата обращения: 08.06.2026).
12. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18.12.2021 № 3711-р «Об утверждении Концепции развития системы абилитации и реабилитации инвалидов, в том числе детей-инвалидов в Российской Федерации». — Текст: электронный // Гарант: информационно-правовой портал: [сайт]. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403212204/?ysclid=mnn6gwplkr316026663/> (дата обращения: 08.06.2026).
13. Информационные справки за 2017–2025 год «О развитии ранней помощи детям и их семьям в Санкт-Петербурге». — Текст: электронный // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга: [сайт]. — URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/trud/organizacii-rannej-pomoshi-detyam-ot-0-do-8-let/> (дата обращения: 08.06.2026).
14. Адреса МСЭ по районам СПб. — Текст: электронный // spbmuk.ru: [сайт]. — URL: <http://spbmuk.ru/adresa-mse-po-rayonam-spb/> (дата обращения: 08.06.2026).
15. Отчет Санкт-Петербурга о реализации Межведомственного комплексного плана мероприятий по развитию инклюзивного общего и дополнительного образования, детского отдыха, созданию специальных условий для обучающихся с инвалидностью, с ограниченными возможностями здоровья. — Текст: электронный // mgppu.ru: [сайт]. — URL: <https://mgppu.ru/resources/files/fkc/2024/%D0%A1%D0%9F%D0%B1%20%D0%9C%D0%9A%D0%9F%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82.pdf?ysclid=mmlyu7zvpb874045154/> (дата обращения: 08.06.2026).
16. Официальный сайт Комитета по образованию Санкт-Петербурга. — Текст: электронный // Комитет по образованию Санкт-Петербурга: [сайт]. — URL: <https://k-obr.spb.ru/> (дата обращения: 08.06.2026).
17. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 04.06.2014 № 453 «О государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие образования в Санкт-Петербурге» (с изменениями). — Текст: электронный // Консорциум Кодекс: [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/822403530?marker=7DC0K7/> (дата обращения: 08.06.2026).

Анализ бизнес-процессов на основе проектной документации: диаграмма Ганта, реестр рисков и матрица ответственности

Груздева Виктория Евгеньевна, студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В статье анализируется возможность использования трёх типовых проектных документов — диаграммы Ганта, реестра рисков и матрицы ответственности — для выявления узких мест бизнес-процессов. Показано, что каждый из документов позволяет обнаружить определённый класс проблем: затянутые сроки, системные риски или нечёткое распределение ролей. Обосновано, что совместный анализ этих артефактов даёт основу для постановки задач по автоматизации процессов и их последующей оптимизации.

Ключевые слова: бизнес-процессы, проектная документация, диаграмма Ганта, реестр рисков, матрица ответственности, узкие места, автоматизация процессов.

В современном мире каждое событие в организации сопровождается оформлением значительного объёма документации — в том числе и при создании и реализации новых проектов. К числу наиболее распространённых артефактов относятся диаграмма Ганта, реестр рисков и матрица ответственности. Однако на практике эти документы часто выполняют формальную функцию — их разрабатывают для отчётности перед руководством, заказчиком и спонсорами, но не используют как инструмент анализа самого процесса.

Между тем каждый из перечисленных документов содержит информацию о том, как устроен процесс: сроки, ресурсы, роли, риски. Если подойти к ним системно и аналитически, они могут раскрыть типовые проблемы — затянутые этапы, неопределённость в зонах ответственности, разрыв между целями и ресурсами. Эти проблемы, или «узкие места», являются прямыми кандидатами для автоматизации.

Диаграмма Ганта представляет собой ленточную диаграмму, на которой задачи проекта распределены по времени реализации с указанием длительностей, последовательностей и взаимосвязей процессов. В практике управления проектами этот инструмент чаще всего используют для визуального контроля сроков исполнения проекта, однако его аналитический потенциал можно рассмотреть и иначе.

Анализ диаграммы Ганта позволяет выявить следующие типовые проблемы. Во-первых, это этапы с аномально большой длительностью, которые могут свидетельствовать о неэффективной организации работ или избыточных ручных операциях. Во-вторых, это последовательно запланированные задачи, которые при наличии ресурсов можно было бы выполнять параллельно, — такое построение удлинит общий срок проекта без объективных причин. В-третьих, это задачи, расположенные на критическом пути, где любая задержка сдвигает весь проект, но при этом они не обеспечены достаточным контролем или ресурсами.

Выявленные таким образом точки становятся теми самыми «узкими местами», сократить влияние которых можно с помощью автоматизации. Например, если этап

занимает неоправданно много времени из-за ручных согласований, возможно внедрить автоматическую маршрутизацию документов. Если задачи можно распараллелить, но вручную это не настроено, автоматизация планирования позволяет оптимизировать график. Таким образом, диаграмма Ганта даёт не только визуальную картину, но и основу для принятия решений об изменении процесса.

Другой аспект анализа связан с учётом неопределённостей. Для этого используется реестр рисков.

Реестр рисков представляет собой структурированный перечень потенциальных событий, которые могут повлиять на ход реализации проекта. В нём фиксируются название риска, его описание, вероятность наступления, уровень влияния на показатели проекта (например, стоимость, время), меры реагирования и ответственные лица. Чаще всего реестр ведётся для контроля процесса и внештатных ситуаций, однако он содержит информацию, полезную для анализа и самого процесса.

Анализ реестра рисков позволяет выявить две типовые проблемы. Во-первых, это частое повторение одних и тех же рисков от проекта к проекту, что свидетельствует о системных сбоях. Это значит, что проблема заложена в самом процессе — например, в нём отсутствуют контрольные точки или необходимые проверки. Во-вторых, это риски с высокой вероятностью и высоким влиянием, по которым меры реагирования формально прописаны, но на практике не применяются. Это указывает на разрыв между планированием и исполнением.

Выявленные таким образом точки становятся основаниями для дальнейшего анализа и поиска решений, в том числе с использованием инструментов автоматизации.

Третий документ, который может быть использован для анализа процесса, — матрица ответственности.

Матрица ответственности представляет собой таблицу, в которой по строкам перечислены задачи или этапы процесса, а по столбцам — роли участников. В ячейках указывается, как конкретная роль участвует в задаче: «исполнитель», «ответственный», «консультант», «согласующий». В некоторых случаях также встречаются и другие роли, например, «информатор». На практике этот документ чаще всего используют для назначения ответственных, но

его аналитический потенциал выходит за рамки распределения ролей.

Анализ матрицы ответственности позволяет выявить следующие типовые проблемы. Во-первых, это задачи, по которым не назначен исполнитель или ответственный, они остаются без реального владельца. Во-вторых, это задачи с несколькими исполнителями, что создаёт зоны неопределённости и риски дублирования или, наоборот, пропуска работ. В-третьих, это избыточное количество ролей, которые должны быть проинформированы или проконсультированы — это удлиняет процесс согласования без добавления ценности.

Выявленные таким образом точки становятся основаниями для дальнейшего анализа и поиска решений. Отсутствие назначенного исполнителя указывает на необходимость доработки процесса назначения задач. Несколько исполнителей по одной задаче сигнализируют о нечётком разделении зон ответственности. Избыточные согласования требуют пересмотра состава участников на каждом этапе. Эти наблюдения могут быть использованы для оптимизации процесса, в том числе с помощью инструментов автоматизации, таких как автоматическая маршрутизация задач или упрощение цепочек согласования.

Каждый из трёх рассмотренных документов даёт срез процесса с разных сторон. Диаграмма Ганта показывает временную структуру, реестр рисков — зоны неопределённости, матрица ответственности — распределение ролей. По отдельности они уже позволяют выявить узкие места, но наибольшую ценность представляет их совместный анализ.

Например, затянутый этап, выявленный по диаграмме Ганта, может быть связан с тем, что за эту задачу никто

не отвечает (проблема матрицы ответственности) или что она подвержена высокому риску сбоев (реестр рисков). В этом случае узкое место не единичное, а системное — оно проявляется в нескольких документах одновременно, что делает его приоритетным для автоматизации.

Другой пример: избыточное количество согласований, зафиксированное в матрице ответственности, может быть следствием излишней осторожности, заложенной в реестре рисков. Если риски не пересматриваются и не актуализируются, требования к согласованиям остаются избыточными даже тогда, когда они уже не нужны. Анализ двух документов вместе позволяет увидеть эту цепочку и предложить решение: не просто убрать согласования, а настроить процесс пересмотра рисков и привязать уровень контроля к актуальной оценке неопределённости.

Таким образом, документы не существуют изолированно. Их системный анализ позволяет выявить не только локальные проблемы, но и взаимосвязи между ними. Это даёт более полную картину процесса и позволяет формулировать более точные задачи для автоматизации — не по одному документу, а по цепочке взаимосвязанных проблем.

Предложенный подход показывает, что документы, которые традиционно считаются формальными, могут служить источником информации о состоянии процессов. Выявленные через них проблемы — затянутые этапы, повторяющиеся риски, размытые зоны ответственности — указывают не на ошибки исполнителей, а на системные недостатки в организации работ. Автоматизация этих процессов, основанная на данных из проектной документации, позволяет не просто ускорить выполнение задач, но и устранить причины их возникновения.

Литература:

1. Резвякова, И. В., Пашкова, А. Д. Современные подходы к анализу бизнес-процессов: теоретические основы и практические инструменты / И. В. Резвякова., А. Д. Пашкова — Текст: электронный // cyberleninka: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-analizu-biznes-protseessov-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskie-instrumenty/viewer> (дата обращения: 07.08.2026).
2. Туякова, З. С., Черемушникова Т. В. Анализ бизнес-процессов в системе инструментариев оценки деятельности компаний / З. С. Туякова., Т. В. Черемушникова — Текст: электронный // cyberleninka: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-biznes-protseessov-v-sisteme-instrumentariiev-otsenki-deyatelnosti-kompaniy/viewer> (дата обращения: 07.08.2026).
3. Ручкин, А. В. Управление проектами: основные определения и подходы / А. В. Ручкин. — Текст: электронный // cyberleninka: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proektami-osnovnye-opredeleniya-i-podhody/viewer> (дата обращения: 07.08.2026).

Методический подход к идентификации рисков на этапе инициации строительных проектов с применением инструментов генеративного искусственного интеллекта

Забилов Никита Нурхатович, студент

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Пермский филиал

В статье рассматривается проблема неполноты и несистематичности идентификации рисков на этапе инициации строительных проектов в условиях, когда анализ опирается преимущественно на индивидуальный опыт исполнителей. Автор предлагает и апробирует методический подход к анализу предпроектных рисков, сочетающий качественные методы организационной диагностики (анализ критических инцидентов, картирование процесса с помощью SIPOC и BPMN, построение дерева причинно-следственных связей) с применением генеративного искусственного интеллекта для структурированной идентификации и приоритизации рисков в соответствии с методологией PMBoK 8-го издания. Показано, что предложенная процедура позволяет формировать воспроизводимый и накапливаемый актив организационного знания о рисках, снижая зависимость качества анализа от опыта отдельных сотрудников.

Ключевые слова: управление рисками, строительные проекты, процессный подход, анализ критических инцидентов, генеративный искусственный интеллект, идентификация рисков.

Строительная отрасль относится к числу наиболее капиталоемких сфер экономики, в которой ошибки, допущенные на ранних стадиях жизненного цикла проекта, влекут значительные финансовые и временные потери. Стоимость устранения ошибок управления нарастает нелинейно по мере продвижения проекта: решения, принятые на этапе инициации, обходятся в разы дешевле при немедленном исправлении и в разы дороже — на стадии строительства [3; 8]. Вместе с тем практика девелоперских компаний демонстрирует устойчивое противоречие: при высокой академической разработанности методологии управления проектными рисками анализ рисков на предпроектной стадии зачастую реализуется неформализованно, опираясь на индивидуальный опыт конкретных сотрудников, что делает его результаты невоспроизводимыми и затрудняет накопление организационного знания [6; 9]. Данное противоречие определяет проблему исследования: отсутствие структурированной, воспроизводимой и опирающейся на накопленный опыт организации процедуры идентификации рисков на этапе инициации строительных проектов.

Объектом исследования выступает процесс анализа рисков на этапе инициации строительных проектов девелоперской компании, предметом — методы и инструменты его совершенствования. Цель работы — разработка и апробация методического подхода к анализу предпроектных рисков, позволяющего преодолеть зависимость результата от индивидуального опыта исполнителей. В соответствии с целью сформулированы исследовательские вопросы:

какие организационные факторы обуславливают неполноту и несистематичность идентификации рисков на этапе инициации;

какая последовательность методов позволяет выявить и содержательно объяснить эти факторы;

применим ли инструмент генеративного искусственного интеллекта для структурированной идентификации и приоритизации рисков в соответствии с методологией

управления проектами и при каких условиях его использование даёт валидный результат.

Для ответа на поставленные вопросы разработана последовательная программа исследования, объединяющая качественные методы организационной диагностики. Выбор качественных методов обусловлен характером проблемы: на этапе инициации, когда объём формализованных данных о площадке ограничен, а решения принимаются в условиях неопределённости, ведущую роль играют методы качественного анализа — структурированные экспертные интервью и анализ прошлого опыта, тогда как количественные методы применимы лишь при достаточном объёме исходных данных [4; 9]. Упрощённый вид программы исследования представлен в таблице 1.

Для сбора данных на базе девелоперской компании (далее — Компания X) проведена серия полуструктурированных интервью с руководством и профильными подразделениями, а также проанализированы внутренние документы. Метод анализа критических инцидентов задокументировал четыре случая, в которых недостаточная глубина предпроектного анализа привела к существенным потерям: приобретение участка в зоне с особыми условиями использования территории, исключившей жилищное строительство; участок с обязательством расселения ветхого жилья, растянувшимся на годы; разрешение на строительство при неподъёмной стоимости подключения сетей; изменение градостроительной концепции района, лишившее объект автомобильного подъезда. Во всех случаях решение принималось при неполной проверке рисков, на основании уверенности в контролируемости ситуации либо привлекательности локации.

Картирование процесса при помощи инструмента SIPOC и нотации BPMN показало, что предпроектный анализ рисков в компании X не формализован: отсутствуют регламент, реестр рисков и владелец процесса; результатом является устное заключение, а не документируемый актив; решение принимается единолично. Дерево причинно-следственных связей свело проблему к трём ко-

Таблица 1. Программа исследования

Этап исследования	Методы и инструменты	Ожидаемый результат
Определение предпосылок исследования	Полуструктурированные интервью; анализ вторичных данных; анализ критических инцидентов	Обоснованные предпосылки исследования
Анализ текущего процесса	Неструктурированные интервью; включённое наблюдение; картирование процесса (SIPOC, BPMN)	Модель процесса «как есть», выявленные слабые места
Установление причинно-следственных связей	Дерево причинно-следственных связей	Коренные причины инцидентов
Разработка методического инструмента	Анализ лучших практик; структурированный запрос к генеративной модели ИИ	Реестр рисков, сгруппированный по категориям

ренным причинам: опора идентификации на индивидуальный опыт без методологии; отсутствие реестра рисков и журнала инцидентов, исключающее накопление организационной памяти; единоличное принятие решения без агрегации экспертных оценок.

Установленные коренные причины определили требования к разрабатываемому инструменту: структурированная и воспроизводимая идентификация рисков, независимая от осведомлённости конкретного сотрудника, и одновременное накопление организационного опыта. В качестве такого инструмента разработан и апробирован метод построения реестра рисков с применением генеративной модели искусственного интеллекта, соответствующий положениям восьмого издания свода знаний по управлению проектами (PMBoK 8), впервые допускающего использование генеративного ИИ для идентификации и ранжирования рисков [7].

Методическая процедура строится в два этапа. На первом этапе формулируется структурированный запрос (промпт), задающий модели роль отраслевого эксперта по риск-менеджменту, контекст компании и, что принципиально важно, задокументированный опыт критических инцидентов — это обеспечивает опору результата на реальный, а не абстрактный контекст. Модели ставится задача сформировать перечень рисков, сгруппированных по категориям (градостроительные, юридические, земельно-правовые, инфраструктурные, социальные, экологические, рыночные, операционные), с указанием названия, описания, причины и последствий каждого риска. На втором этапе выполняется приоритизация — оценка вероятности наступления и выделение наиболее критичных рисков. Обязательное условие методики — верификация перечня профильными экспертами: результат модели рассматривается как структурированная гипотеза, подлежащая проверке, а не готовое решение.

Апробация метода на материале Компании X позволила сформировать структурированный реестр из 40

рисков, распределённых по восьми категориям и прошедших экспертную оценку профильных подразделений; все выявленные риски признаны актуальными для применения при рассмотрении новых площадок. Полученный результат демонстрирует более высокий уровень полноты идентификации по сравнению с исходным неформализованным процессом: за счёт явного включения в запрос типологии рисков и опоры на анализ критических инцидентов метод систематически охватывает категории, ранее выявлявшиеся эпизодически либо не выявлявшиеся вовсе.

Научная ценность подхода заключается не в конкретном перечне рисков отдельной компании, а в методической последовательности: диагностика процесса через SIPOC и BPMN, выявление коренных причин через дерево причинно-следственных связей и структурированное применение генеративного ИИ для формирования проверяемого экспертами актива знания. Такая последовательность воспроизводима для иных компаний отрасли при адаптации контекста запроса. Ограничения: качество результата зависит от полноты контекста; метод относится к качественному анализу и не заменяет количественные инструменты оценки, применение которых целесообразно на последующих стадиях.

Таким образом, исследование показывает, что неполнота идентификации рисков на этапе инициации строительных проектов является следствием не столько отраслевой специфики, сколько отсутствия формализованной методологии анализа, опирающейся на организационную память. Апробированный подход, сочетающий качественную диагностику процесса с применением генеративного ИИ по методологии PMBoK 8, даёт структурированный и верифицируемый инструмент идентификации рисков, снижающий зависимость качества анализа от опыта отдельных исполнителей. Дальнейшее направление — оценка устойчивости метода при повторном применении и разработка количественных критериев его эффективности.

Литература:

1. Davenport T. H. Process Innovation. — Boston: Harvard Business School Press, 1993.
2. Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. Megaprojects and Risk. — Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

3. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation. — New York: Harper Business, 1993.
4. Harrington H. J. Business Process Improvement. — New York: McGraw-Hill, 1991.
5. Merrow E. W. Industrial Megaprojects. — Hoboken: Wiley, 2011.
6. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). — 8th ed. — Newtown Square: PMI, 2025.
7. Ward S., Chapman C. Transforming project risk management into project uncertainty management // International Journal of Project Management. — 2003. — Vol. 21, No. 2. — Pp. 97–105.
8. Zou P. X. W., Zhang G., Wang J. Understanding the key risks in construction projects in China // International Journal of Project Management. — 2007. — Vol. 25, No. 6. — Pp. 601–614.

Стратегическая зрелость системы управления персоналом организации: методический подход к оценке

Корсакова Екатерина Александровна, студент магистратуры
Московский финансово-юридический университет МФЮА

Раскрыто содержание стратегической зрелости системы управления персоналом и предложен компактный диагностический подход к ее оценке. Модель учитывает согласованность кадровой функции со стратегией организации, качество базовых HR-процессов, развитие человеческого капитала, HR-аналитику и цифровизацию. Уровень зрелости определяется по пятибалльной шкале с расчетом интегрального показателя. Обосновано, что итоговая оценка должна дополняться анализом профиля зрелости, поскольку одинаковый средний балл может скрывать разные кадровые риски.

Ключевые слова: стратегическое управление персоналом, кадровая стратегия, стратегическая зрелость, HR-аналитика, кадровое планирование, оценка эффективности.

Strategic maturity of the organizational human resource management system: a methodological approach to assessment

The article defines the strategic maturity of an organizational human resource management system and proposes a concise assessment model. The model covers strategic alignment, core HR processes, human capital development, HR analytics and digitalization. Maturity is assessed on a five-point scale with an integral indicator. The study argues that the overall score should be supplemented by a maturity profile because equal average values may conceal different HR risks.

Keywords: strategic human resource management, HR strategy, strategic maturity, HR analytics, workforce planning, performance assessment.

Персонал приобретает стратегическое значение тогда, когда кадровые решения связаны не только с текущей потребностью в работниках, но и с долгосрочными целями, будущими компетенциями и результатами организации. М. Армстронг рассматривает управление человеческими ресурсами как согласованную систему практик, а А. Я. Кибанов подчеркивает системный характер кадровой работы, включающей планирование, развитие, мотивацию и оценку персонала [1, с. 113–121; 3, с. 191–236]. Ресурсная концепция объясняет стратегическую роль работников способностью уникальных знаний и компетенций создавать устойчивые преимущества организации [2, с. 74–79; 10, с. 3–26].

В теории стратегического управления человеческими ресурсами ключевым является принцип согласования HR-практик с общей стратегией. П. Райт и Г. Макмэхан связывают предмет данной области с планируемыми кадровыми

решениями, обеспечивающими достижение организационных целей [11, с. 298–301]. П. Боксалл и Дж. Перселл дополняют эту позицию требованием учитывать интересы работников и контекст организации [6, с. 3–28]. Исследования Дж. Дэлери и Д. Доти, а также Д. Геста показывают, что эффект возникает не от изолированной кадровой процедуры, а от внутренне согласованной совокупности практик [7, с. 802–808; 8, с. 263–267]. Д. Ульрих поэтому определяет HR-функцию как стратегического партнера, участвующего в организационных изменениях, а не только как административного исполнителя [4, с. 53–78].

Из этих положений следует, что наличие регламентов подбора, обучения или премирования еще не свидетельствует о стратегическом характере кадровой системы. Критическим является то, насколько HR-процессы взаимосвязаны, измеримы, поддерживают цели организации и способны адаптироваться к изменениям. Для фиксации

данного состояния предлагается использовать категорию стратегической зрелости системы управления персоналом.

Стратегическая зрелость системы управления персоналом — это степень сформированности и согласованности кадровых процессов, при которой HR-функция обеспечивает текущую деятельность, прогнозирует кадровые потребности, развивает необходимые компетенции и обосновывает решения данными. В данной трактовке зрелость включает четыре признака: системность процессов, связь со стратегией, измеримость результатов и способность к постоянному развитию.

Для диагностики предлагается выделять пять уровней зрелости. На административном уровне кадровая функция сосредоточена на учете и соблюдении обязательных требований. Процессный уровень предполагает

формализацию подбора, адаптации, обучения и оценки, но их связь со стратегией остается слабой. На согласованном уровне HR-процессы соотносятся с задачами подразделений. Аналитический уровень характеризуется регулярным использованием показателей и оценкой кадровых рисков. На стратегическом уровне кадровая система участвует в планировании развития организации, формирует компетенции будущего и использует данные для прогнозирования.

Состав оценки целесообразно формировать из десяти компонентов, представленных в таблице 1. Их выбор отражает логику перехода от кадрового администрирования к стратегическому партнерству и позволяет диагностировать не только формальное наличие процедур, но и качество их применения.

Таблица 1. Компоненты оценки стратегической зрелости системы управления персоналом

№	Компонент	Диагностический признак
1	Стратегическая согласованность	Участие HR-функции в планировании, связь кадровых целей с целями организации.
2	Кадровое планирование	Прогноз численности, компетенций, ключевых позиций и кадровых рисков.
3	Подбор и адаптация	Профили должностей, структурированный отбор, наставничество, оценка испытательного срока.
4	Обучение и развитие	Связь обучения с дефицитом компетенций, планами развития и задачами подразделений.
5	Оценка результативности	Понятные критерии, обратная связь, использование результатов для развития и вознаграждения.
6	Мотивация и вознаграждение	Согласование материальных и нематериальных стимулов с требуемыми результатами.
7	Кадровый резерв	Определение ключевых позиций, преемников и планов подготовки резервистов.
8	Вовлеченность и культура	Регулярная обратная связь, анализ причин текучести, поддержка желаемого поведения.
9	HR-аналитика	Мониторинг текучести, производительности, сроков подбора, обучения и кадровых рисков.
10	Цифровизация	Автоматизация кадровых процессов и использование достоверных данных для решений.

Каждый компонент оценивается по шкале от 0 до 5 баллов: 0 — компонент отсутствует; 1 — выполняются отдельные несистемные действия; 2 — действуют базовые, но нерегулярные процедуры; 3 — процедуры формализованы и применяются постоянно; 4 — они связаны с целями и показателями организации; 5 — компонент используется для прогнозирования и регулярного совершенствования.

Интегральная оценка рассчитывается как взвешенная сумма баллов: $Z_c = \sum(W_i \times B_i)$, где W_i — вес компонента, B_i — его оценка. При отсутствии обоснованных приоритетов допустимы равные веса.

Интервалы интерпретации могут быть установлены следующим образом: 0–1,5 балла — низкая зрелость; 1,6–2,5 — базовая; 2,6–3,5 — средняя; 3,6–4,5 — высокая; 4,6–5,0 — развитая стратегическая зрелость. Однако итоговый

балл необходимо дополнять профилем компонентов. Например, цифровой кадровый учет может сочетаться с отсутствием кадрового планирования и преемственности. Среднее значение в таком случае не раскрывает реальный риск.

Измеримость кадровой функции опирается на идеи HR Scorecard Б. Беккера, М. Хьюзлида и Д. Ульриха, а также на логику сбалансированной системы показателей Р. Каплана и Д. Нортон: показатели должны связывать управленческие действия с результатами организации [5, с. 1–26; 9, с. 1–18]. Поэтому оценка зрелости требует документальных и фактических подтверждений: локальных актов, HR-статистики, интервью с руководителями, опросов работников и анализа практики применения процедур.

Методика имеет диагностический, а не сертификационный характер. Ее результаты зависят от размера, от-

расли и стадии развития организации. Небольшой компании не требуется такая же степень формализации, как крупной структуре, однако отсутствие прогноза кадровой потребности, критериев результативности и достоверных данных в обоих случаях ограничивает качество решений.

Предложенный подход позволяет определить, какие элементы кадровой системы препятствуют переходу к стратегическому управлению. Практическая ценность оценки состоит не в присвоении организации формального уровня, а в выборе приоритетов: развитии кадрового планирования, моделей компетенций, оценки результативности, резерва, аналитики или цифровых инстру-

ментов. Повторная диагностика после реализации мероприятий позволяет оценить не только отдельный эффект, но и изменение согласованности всей HR-системы.

Итак, стратегическая зрелость отражает способность системы управления персоналом поддерживать долгосрочные цели организации посредством согласованных, измеримых и развивающихся HR-процессов. Пятиуровневая шкала, десять компонентов и интегральный показатель образуют компактный инструмент первичной диагностики. Его применение должно сочетать количественную оценку с содержательным анализом кадровой практики и учитывать специфику организации.

Литература:

1. Armstrong M. A Handbook of Human Resource Management Practice. 10th ed. London: Kogan Page, 2006. 982 p.
2. Барни Дж. Может ли ресурсная концепция принести пользу исследованиям в области стратегического управления? // Российский журнал менеджмента. 2009. Т. 7. № 2. С. 71–92.
3. Кибанов А. Я. Управление персоналом организации: учебник. 4-е изд., доп. и перераб. М.: ИНФРА-М, 2020. 695 с.
4. Ulrich D. Human Resource Champions: The Next Agenda for Adding Value and Delivering Results. Boston: Harvard Business School Press, 1997. 304 p.
5. Becker B. E., Huselid M. A., Ulrich D. The HR Scorecard: Linking People, Strategy, and Performance. Boston: Harvard Business School Press, 2001. 235 p.
6. Boxall P., Purcell J. Strategy and Human Resource Management. 4th ed. London: Palgrave Macmillan, 2016. 353 p.
7. Delery J. E., Doty D. H. Modes of Theorizing in Strategic Human Resource Management: Tests of Universalistic, Contingency, and Configurational Performance Predictions // Academy of Management Journal. 1996. Vol. 39. No. 4. P. 802–835.
8. Guest D. E. Human Resource Management and Performance: A Review and Research Agenda // International Journal of Human Resource Management. 1997. Vol. 8. No. 3. P. 263–276.
9. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston: Harvard Business School Press, 1996. 322 p.
10. Pfeffer J. Competitive Advantage through People: Unleashing the Power of the Work Force. Boston: Harvard Business School Press, 1994. 281 p.
11. Wright P. M., McMahan G. C. Theoretical Perspectives for Strategic Human Resource Management // Journal of Management. 1992. Vol. 18. No. 2. P. 295–320.

МАРКЕТИНГ, РЕКЛАМА И PR

Ценовая чувствительность потребителей и роль промо-акций в формировании покупательского поведения на российском рынке кондитерских изделий

Киселева Ксения Артемовна, студент;

Осоткин Николай Вячеславович, студент

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Статья посвящена анализу ценовой чувствительности потребителей и роли промо-акций в стимулировании сбыта на российском рынке кондитерских изделий в условиях резкого удорожания сырья в 2024–2026 гг. Показано, что ценовой фактор остается наиболее значимым среди пяти детерминант покупки — цены, упаковки, качества, обслуживания и места производства. Дефицит какао-бобов и скачок цен на шоколад в России стали естественным подтверждением ценовой эластичности спроса: рост цен сопровождался переключением потребителей на более доступные категории. Промо-активность формирует риски эрозии бренда и снижения маржинальности. Предложены направления балансировки ценового и неценового стимулирования сбыта в условиях сырьевой волатильности.

Ключевые слова: покупательское поведение, ценовая чувствительность, промо-акции, стимулирование сбыта, рынок кондитерских изделий, маркетинговая стратегия, ценовая эластичность, кризис какао.

Введение

Российский рынок кондитерских изделий относится к числу зрелых, но структурно неустойчивых сегментов пищевой промышленности. По данным Росстата, в 2025 г. физический объем производства сократился на 6 % (до 4,1 млн т), а в денежном выражении категория выросла на 16 % [4]: средняя цена достигла 122 руб./кг (+16,9 %) при росте физических продаж всего на 1,2 % [5].

Наиболее показательным примером стал сегмент шоколада. Из-за неурожаев в Западной Африке (Кот-д’Ивуар и Гана дают около 70 % мирового какао) цены на какао-бобы в 2024–2025 гг. взлетали свыше 10 тысяч долларов за тонну, вслед за чем средняя розничная цена шоколада в России выросла с 1124 до 1439 руб./кг (почти на 28 % за два года), а физический объем продаж плиток сократился — рынок называет это «шоколадным парадоксом» [3]. Одновременно продажи протеиновых изделий выросли на 45 % — потребители переключаются на доступные и функциональные категории [5]. Возникает вопрос, как ценовой фактор и промо-активность соотносятся с иными детерминантами поведения в условиях сырьевой волатильности.

Вопросы конкурентоспособности предприятий кондитерской промышленности рассматривались Е. А. Гусаровой и Л. В. Макаровой [1], тенденции отрасли — Е. В. Крамер и О. В. Скрыбиной [2]. Однако в этих работах цена и промо-акции рассматриваются как один из эле-

ментов маркетинга без отдельной оценки их значимости среди детерминант покупательского поведения, что определяет ракурс настоящего исследования. Цель статьи — определить место ценового фактора среди детерминант покупательского поведения и охарактеризовать выгоды и риски промо-стимулирования для производителей.

Материалы и методы

Информационной базой исследования послужили данные Росстата, аналитических компаний NTech и T-Data, ритейл-аудита NielsenIQ и отраслевых обзоров мирового рынка какао за 2024–2026 гг., дополненные собственным анализом спроса на рынке кондитерских изделий. Анализ включал оценку пяти факторов покупательского выбора (цена/акции, упаковка, качество, обслуживание, место производства) и трех поведенческих моделей — рациональной, эмоциональной и импульсивной.

Результаты и обсуждение

Ранжирование факторов покупательского поведения. Анализ показал, что среди пяти рассмотренных факторов наибольшее влияние на решение о покупке кондитерских изделий оказывает ценовой фактор, наименьшее — место производства продукции (табл. 1).

Полученное ранжирование подтверждается кейсом шоколада, который показывает и обратную сторону це-

Таблица 1. Ранжирование факторов покупательского поведения на рынке кондитерских изделий

Фактор покупательского выбора	Ранг значимости	Основной канал влияния
Цена, скидки, акции	1	Гипермаркеты, супермаркеты, онлайн-промо
Упаковка	2	Розничная выкладка, импульсивные покупки
Качество продукции	3	Повторные покупки, лояльность
Обслуживание клиентов	4	Специализированные магазины
Место производства	5	Имиджевые / премиальные сегменты

новой чувствительности: при удорожании продукции почти на треть часть потребителей переключается на более доступные категории — карамель, мучные изделия, продукцию с пониженным содержанием какао, то есть готовность платить за привычные лакомства оказывается сегментированной, а не абсолютной.

Механизм и риски промо-стимулирования. Акции и скидки остаются важнейшим инструментом стимулирования продаж, однако в 2025–2026 гг. их роль трансформируется: в условиях удорожания сырья промо-активность смещается с глубоких скидок на премиальную продукцию к продвижению доступных линеек-заменителей. Она особенно эффективна применительно к импульсивной модели поведения, где решающую роль играют витринная выкладка, реклама в местах продаж и соцсети.

Вместе с тем ценовое стимулирование носит двойственный характер: акции обеспечивают быстрый рост продаж, но систематическое их применение несет риски — краткосрочность эффекта, привлечение целевой «промо-чувствительной» аудитории, отток постоянных потребителей после завершения акции, снижение маржинальности. Это требует перехода от эпизодического промо-стимулирования к управляемой ценовой политике, увязанной с сегментацией потребителей.

Сегментация ценовой чувствительности. Реакция на ценовые стимулы различается по моделям поведения: рациональные потребители воспринимают цену как критерий «цена — качество» и слабо реагируют на немотивированные скидки; эмоциональные менее чувствительны к цене, так как покупка связана для них с удовольствием; наиболее выраженную реакцию демонстрируют импуль-

сивные потребители, для которых цена и акция — прямой триггер покупки в точке продаж.

Практические рекомендации. С учетом волатильности сырьевых цен 2024–2026 гг. целесообразно выделить четыре направления: 1) дифференциация промо-инструментов по сегментам; 2) хеджирование сырьевых рисков и гибкая рецептура (частичная замена какао-продуктов, линейки с пониженным его содержанием); 3) развитие доступных категорий-заменителей (протеиновые, безсахарные, мучные изделия), спрос на которые уже показывает двузначный рост [5]; 4) усиление неценовых драйверов лояльности (обратная связь, дегустации, коммуникация ценности продукта).

Заключение

Исследование подтверждает, что цена остается доминирующим фактором покупательского поведения на российском рынке кондитерских изделий, опережая упаковку, качество, обслуживание и место производства. Рост выручки отрасли в 2025 г. обеспечен почти исключительно повышением цен при сокращении физического объема производства на 6 % [4], а кейс шоколада — с его удорожанием на 28 % на фоне дефицита какао — служит прямым эмпирическим подтверждением ценовой эластичности спроса. Промо-акции остаются эффективным, но небезрисковым инструментом, чья роль смещается к продвижению доступных линеек-заменителей. Практическая значимость работы — в обосновании перехода производителей к дифференцированной ценовой политике с элементами хеджирования сырьевых рисков.

Литература:

1. Гусарова Е. А., Макарова Л. В. Анализ конкурентоспособности предприятий кондитерской промышленности // Форум молодых ученых. 2018. № 7 (23). С. 281–286.
2. Крамер Е. В., Скрябина О. В. Современные тенденции в кондитерской промышленности // Юность и знания — гарантия успеха — 2020: сб. науч. трудов 7-й Междунар. молодежной науч. конф. В 3-х т. / отв. ред. А. А. Горохов. 2020. С. 54–56.
3. Шоколадный парадокс: продажи в килограммах падают // Кубанские новости. 2026. 5 мая. URL: <https://kub-news.ru/obshchestvo/2026/05/05/shokoladnyy-paradoks-prodazhi-v-kilogrammakh-padayut/> (дата обращения: 08.06.2026).
4. Россия обновила рекорд по экспорту сахаристых изделий // Российская газета. 2026. 24 марта. URL: <https://rg.ru/2026/03/24/slast-naroda.html> (дата обращения: 22.06.2026).
5. Рынок кондитерских и хлебобулочных изделий: тренды и статистика // World Food. 2026. 17 марта. URL: <https://world-food.ru/ru/media/news/2026/march/17/konditerskie-izdeliya/> (дата обращения: 07.07.2026).

Зоопарк 2.0: новая бизнес-модель взаимодействия человека и животного

Лутай Максим Алексеевич, студент

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

В статье рассматривается эволюционная трансформация зоологических парков из классических мест демонстрации животных в многофункциональные социокультурные и образовательные центры. На основе анализа современных подходов к модернизации зоопарков (Московский зоопарк, Казанский зооботсад, Ленинградский зоопарк, проект «Тигропарк» во Владивостоке) исследуются новые бизнес-модели, основанные на принципах экологического просвещения, комфортной городской среды и устойчивого развития. Анализируются практические инструменты повышения посещаемости, включая географическое зонирование, ребрендинг и формирование экосистемы партнёрских сервисов. Демонстрируется, что современный зоопарк выступает не только как объект сохранения биоразнообразия, но и как драйвер городского туризма и площадка для государственно-частного партнёрства.

Ключевые слова: зоопарк, бизнес-модель, урбанистика, экологическое просвещение, ребрендинг, социокультурный центр, государственно-частное партнёрство, устойчивое развитие.

История зоологических парков насчитывает несколько столетий, однако лишь в последние десятилетия наметился качественный сдвиг в понимании их роли и функций. Традиционная модель, ориентированная на коллекционирование и демонстрацию экзотических животных в клеточных условиях, постепенно уступает место концепции «Зоопарк 2.0». В центре новой модели находятся не только животные, но и человек, его образовательные и рекреационные потребности, а также формирование экологического сознания. Как отмечает архитектор Татьяна Сердюкова, современные зоопарки зачастую продолжают использовать подход XIX века, маскируя его «зелёными» эпитетами, тогда как подлинная трансформация требует переосмысления самой философии взаимодействия человека и животного [7].

Одним из наиболее показательных примеров модернизации является Казанский зооботсад, состоящий из исторической части, основанной в 1806 году профессором Карлом Фуксом, и современной части «Река Замбези», открытой в 2019 году. На сегодняшний день зоологическая коллекция насчитывает 4683 особи 139 видов животных, а ботаническая коллекция включает 1098 видов растений. В 2025 году в зоопарке были построены новые вольеры для амурских тигров, которых привезли из Хабаровского края. Посещаемость зооботсада в 2025 году превысила 852 тыс. человек, что наглядно демонстрирует востребованность современных форматов. Для посетителей проведена 331 экскурсия, в том числе 98 благотворительных, что подтверждает реализацию просветительской функции учреждения [5].

Московский зоопарк, которому в 2026 году исполнилось 162 года, также находится в активной фазе развития. Как отметил мэр столицы Сергей Собянин, в 2026 году планируется открыть новые вольерные комплексы для панды Кэти и золотистых курносых обезьян, а также начать первый этап масштабной реконструкции исторической территории. Сегодня коллекция зоопарка насчитывает около 15,7 тыс. животных, причём более половины из них относятся к редким и исчезающим видам; в 2024 году учреждение установило рекорд по числу представ-

ленных видов — 1253. За прошлый год здесь появилось около 1,6 тыс. детёнышей, а ещё 165 животных прибыли из других регионов России и из-за рубежа. Посещаемость Московского зоопарка превышает 3,2 млн человек в год, что делает его одним из самых популярных мест столицы [1].

Генеральный директор Московского зоопарка Светлана Акулова в интервью подчеркнула принципиальный сдвиг в подходе к развитию: «Важно не количество видов, а благополучие животных. Чтобы иметь такую большую коллекцию, необходимо огромное количество не только сотрудников, но и финансовых средств. Каждое животное требует определённый вольер, который должен состоять из внутреннего и уличного помещений, места, где животное может спрятаться. Для каждого животного должен быть свой климат-контроль». В 2025 году зоопарк создал Глобальное объединение зоологических учреждений с главным партнёром — Индией, что свидетельствует о стремлении выстраивать международные природоохранные программы [3].

Важным элементом новой бизнес-модели становится ребрендинг. Как показано в дипломном проекте, посвящённом Ленинградскому зоопарку, ребрендинг выступает стратегическим инструментом перехода от восприятия зоопарка как места развлечения к статусу культурной институции, отвечающей современным представлениям об экологической ответственности. Ленинградский зоопарк, являющийся одним из старейших в России и важной частью истории города, нуждается в целостной бренд-системе и последовательной визуальной коммуникации [2]. В декабре 2025 года губернатором Санкт-Петербурга была утверждена программа реконструкции и поэтапной реставрации зоопарка, включающая реставрацию входной группы и исторических вольеров, находящихся под охраной КГИОП. Вице-губернатор Борис Пиотровский отметил, что строительство новой площадки для зоопарка остаётся вопросом будущего: «Рано или поздно большой зоопарк, как большая точка притяжения нашего города, культурной и туристической географии, появится» [6].

Новая модель развития предполагает не только модернизацию существующих учреждений, но и создание принципиально новых общественных пространств на основе государственно-частного партнёрства. Показательным примером является проект «Тигропарк» во Владивостоке, реализуемый ГК «Аква-Ресурсы», Центром «Амурский тигр» и мэрией города. Как отметил губернатор Приморского края Олег Кожемяко, «для Приморья тигр — символ нашего края. Благодаря той большой работе, которая проводилась на протяжении многих лет, жители Приморского края, наши гости, действительно влюбились в этого уникального полосатого хищника». Проект предполагает создание парка, где образ символа края вплетён в ландшафт и смысл пространства: здесь планируются пешеходные экотропы, смотровые площадки, зоны для спокойного отдыха, а также световой портал и трёхметровый арт-объект «тигра». Концепция основана на идее экологического просвещения: дети смогут «потрогать тигра своими руками», а основная задача — заинтересовать подрастающее поколение вопросами сохранения природы [4].

Международный опыт подтверждает эффективность перехода к новой модели. Примером служит зоопарк голландского города Эммен, который за несколько десятилетий превратился из небольшого частного зверинца площадью 5,5 га в современный комплекс Wildlands Adventure Zoo Emmen площадью более 22 га. Как отмечают эксперты, его особенность — в отсутствии привычных клеток: посетитель погружается в три «мира» — тропики, саванну и Арктику, где живые существа обитают в условиях, максимально приближенных к естественным. Эмменский зоопарк ежегодно посещает более миллиона человек, при том что население самого города составляет около 100 тыс. жителей. Ключевым фактором успеха стала модель государственно-частного партнёрства: город обеспечил землю и стратегическое видение, государство и регион присоединились к финансированию (общий объём инвестиций — около 200 млн евро), а частный опыт управления стал основой новой системы. Примечательно, что в зоопарке еженедельно проводилось 87 образовательных мероприятий, что, по словам руководства, стало главной причиной отсутствия зоозащитников у входа: посетители

видели не «тюрьму для животных», а место, где формируется уважение к природе.

Экономическая устойчивость зоопарков в новой модели обеспечивается диверсификацией источников дохода. Помимо продажи билетов, современные зоопарки активно развивают дополнительные услуги: экскурсии, мастер-классы, квесты, фотосессии, организацию праздников. В Казанском зооботсаде предлагаются групповые экскурсии, квест «Звёзды в Африке», экскурсия «Закулисье Зооботсада», а также проведение дней рождения и выпускных [5].

Переход к модели «Зоопарк 2.0» представляет собой закономерный этап эволюции зоологических парков в ответ на запросы современного общества. Опыт Московского, Казанского, Ленинградского зоопарков и проекта «Тигропарк» во Владивостоке подтверждает, что ключевыми факторами успешной трансформации выступают: внедрение географического зонирования и создание естественных условий содержания животных; привлечение частных инвестиций через механизмы государственно-частного партнёрства; развитие сопутствующих сервисов и диверсификация доходов; ребрендинг и формирование современной коммуникационной стратегии; интеграция просветительской и рекреационной функций. Уникальной особенностью новых бизнес-моделей является их ориентация не только на сохранение биоразнообразия, но и на создание социально значимых общественных пространств, что подтверждается стабильно высоким числом посетителей (свыше 852 тыс. в год в Казани, более 3,2 млн в год в Москве). Как справедливо отметил один из экспертов, современный зоопарк перестаёт быть расходной статьёй бюджета и становится инвестицией в городское развитие. Опыт российских регионов представляет интерес с точки зрения исследования моделей государственно-частного партнёрства в сфере культуры и может быть применён при развитии аналогичных объектов в других субъектах Российской Федерации. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку универсальных методик оценки экономической и социальной эффективности зоопарков как центров экологического просвещения и драйверов городского развития.

Литература:

1. Сергей Собянин рассказал о планах развития Московского зоопарка // Аргументы и факты. — 2026. — 30 марта. — URL: <https://aif.ru/moscow/sergey-sobyanin-rasskazal-o-planah-razvitiya-moskovskogo-zooparka>.
2. Ребрендинг Ленинградского зоопарка // ВКР НИУ ВШЭ. — 2026. — URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/1159343158>.
3. «Абсолютно другой мир»: Акулова — о панде Катьоше, ИИ-ветеринаре и опекунах // NEWS.ru. — 2026. — 12 февраля. — URL: <https://news.ru/society/absolyutno-druoj-mir-akulova-o-pande-katyushe-ii-veterinare-i-opekunah>.
4. «Тигриное» мороженое и «тигропарк»: инвестиции бизнеса в экопросвещение обсудили на ВЭФ // PrimaMedia. — 2025. — 7 сентября. — URL: <https://primamedia.ru/news/2211549/>.
5. Раис Татарстана посетил Казанский зооботсад «Река Замбези» // Официальный портал Республики Татарстан. — 2025. — 24 декабря. — URL: <https://tatarstan.ru/index.htm/news/2480650.htm>.
6. Борис Пиотровский рассказал о реставрации зоопарка и строительстве новой площадки // Телеканал 78. — 2025. — 26 декабря. — URL: <https://78.ru/news/2025-12-26/boris-piotrovskii-rasskazal-o-restavracii-zooparka-i-stroitelstve-novoi-ploshadki>.

7. «Пока мы смотрим на тигра сквозь стекло, клетка — внутри нас»: что не так с современными зоопарками // Добро. Медиа. — 2026. — 18 февраля. — URL: <https://dobro.press/dobro-media/story/problemy-zooparkov-vzglyad-arhitektora-tatyany-serdyukovoj>.

Зоопарк как бизнес: стратегии монетизации инфраструктуры и создания добавочной стоимости

Лутай Максим Алексеевич, студент бакалавриата

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (г. Белгород)

В статье рассматриваются экономические аспекты функционирования зоологических парков как субъектов рыночной деятельности. На основе анализа финансовой отчётности российских и зарубежных зоопарков исследуются стратегии повышения финансовой устойчивости учреждений. Анализируются источники доходов: билетные продажи, дополнительные сервисы, аренда, благотворительная помощь и механизмы государственно-частного партнёрства. Демонстрируется, что переход от модели «расходной статьи бюджета» к модели самоокупаемого культурно-развлекательного центра требует диверсификации доходов и внедрения цифровых инструментов.

Ключевые слова: зоопарк, бизнес-модель, монетизация, добавочная стоимость, государственно-частное партнёрство, цифровизация, опекунство.

Современный зоологический парк представляет собой сложный хозяйственный комплекс, совмещающий природоохранные, просветительские и рекреационные функции. Однако содержание животных, обслуживание инфраструктуры и выплата заработной платы требуют значительных финансовых ресурсов. Как показывает анализ, большинство муниципальных и государственных зоопарков не могут существовать исключительно за счёт продажи билетов и нуждаются в дополнительных источниках дохода. Директор Воронежского зоопарка Андрей Шестопалов отмечает, что учреждение выживает благодаря поддержке правительства области, а полный переход на самоокупаемость в текущих условиях маловероятен [4]. Вместе с тем передовая практика демонстрирует, что грамотная монетизация инфраструктуры способна превратить зоопарк из дотационного учреждения в прибыльное предприятие.

Продажа входных билетов остаётся основным источником дохода. В 2025 году выручка Новосибирского зоопарка достигла рекордных 688 млн рублей, из которых 575,5 млн рублей (83,6 %) пришлось на продажу билетов. Однако рост билетной выручки не покрывает себестоимость содержания учреждения, составившую 745 млн рублей. Валовой убыток в 57 млн рублей был компенсирован бюджетным финансированием (80 млн рублей) и благотворительной помощью [1]. Воронежский зоопарк, где 40 % посетителей относятся к льготным категориям, демонстрирует социально ориентированную модель ценообразования, которая ограничивает доходную часть [4].

Создание добавочной стоимости достигается за счёт развития сопутствующих сервисов. Сайгонский зоопарк в 2025 году получил рекордную выручку в 148,5 млрд донгов. Помимо продажи билетов, существенный вклад

внесли продажа напитков и продуктов питания (27 млрд донгов), игровая зона (11,3 млрд донгов) и парковка (более 10 млрд донгов). Электронные билеты составили более 81 млрд донгов, что свидетельствует о высокой степени цифровизации [3]. В Московском зоопарке внедрение мобильного приложения с аудиогидом и онлайн-покупкой билетов увеличило продажи сувениров и экскурсий, а также сократило издержки. Оборот Московского зоопарка превышает 4 млн посетителей в год.

Сдача в аренду территорий под объекты общепита становится важным источником стабильного дохода. В 2025 году Новосибирский зоопарк получил от арендных платежей 40,96 млн рублей [1]. В Санкт-Петербурге проект нового зоопарка в Юнтолово площадью 85,6 га предполагает создание тематических пространств — Арктика, саванна, тропические джунгли, горная Азия и русская тайга. Посещаемость комплекса может достигать 3,5 млн человек в год. Стоимость проекта оценивается в 100 млрд рублей, а реализация рассматривается через механизм государственно-частного партнёрства.

Благотворительность и корпоративное опекунство — важнейшие инструменты финансовой устойчивости. Новосибирский зоопарк в 2025 году привлёк 45,29 млн рублей благотворительных средств, что на 97 % больше предыдущего года [1]. Зоопарк Честера (Великобритания), имеющий статус благотворительной организации, направил 26,5 млн фунтов стерлингов из 63,1 млн, полученных от посетителей и пожертвований, на природоохранные проекты и образовательные программы. Швейцарские зоопарки также демонстрируют важность благотворительности: для Базельского зоопарка пожертвования являются вторым по значимости источником дохода после билетных продаж.

Нестандартные способы монетизации ориентированы на эмоциональное вовлечение аудитории. Зоопарк Честера развивает образовательные форматы без демонстрации животных: интерактивные игры, пантомимы с куклами. В День всех влюблённых некоторые зоопарки предлагают назвать таракана именем бывшего партнёра и скормить хищнику — акция генерирует виральный эффект и дополнительный доход. Глобальный рынок зоопарков демонстрирует устойчивый рост благодаря интересу к экотуризму и образовательным форматам досуга.

Проведённый анализ показывает, что стратегии монетизации зоопарков эволюционируют от простой продажи

билетов к сложным экосистемам дополнительных услуг, цифровых решений и партнёрских программ. Ключевыми элементами успешной бизнес-модели выступают диверсификация доходов, цифровизация, программы опекуна, креативные маркетинговые акции и государственно-частное партнёрство. Однако даже при рекордной выручке бюджетная поддержка остаётся критически важной для покрытия затрат на содержание животных [1] [4]. Экономическая устойчивость зоопарка достигается не отказом от государственного финансирования, а его разумным дополнением за счёт коммерческих инструментов, позволяющих создавать добавочную стоимость и развивать учреждение как социокультурный центр.

Литература:

1. Господдержка — как залог эффективности: Новосибирский зоопарк опубликовал бухгалтерскую отчетность за 2025 год // Континент Сибирь Online. — 2026. — 21 марта. — URL: <https://ksonline.ru/603365/gospodderzhka-kak-zalog-effektivnosti-novosibirskij-zoopark-opublikoval-buhgalterskuyu-otchetnost-za-2025-god/>.
2. Второй зоопарк с большими вольерами, ресторанами и обучающим центром откроют в Петербурге // Комсомольская правда. — 2026. — 27 мая. — URL: <https://www.spb.kp.ru/daily/277786/5255000/>.
3. Недавно в зоопарке был проведен рейд по делу о краже белых лебедей, что принесло огромную прибыль // Vietnam.vn. — 2026. — 4 февраля. — URL: <https://www.vietnam.vn/ru/thao-cam-vien-vua-bi-bat-trom-thien-nga-trang-bao-lai-dam>.
4. «На одного тигра в день уходит 10 кг говядины»: сколько тратит Воронежский зоопарк на своих животных // РИА Воронеж. — 2026. — 29 июня. — URL: <https://riavrn.ru/news/na-odnogo-tigra-v-den-uhodit-10-kg-govyadiny-skolko-tratit-voronezhskij-zoopark-na-svoih-zhivotnyh/>.

Белгородский зоопарк: переезд и новая жизнь на 25 гектарах

Лутай Максим Алексеевич, студент

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

В статье рассматривается история Белгородского зоопарка от основания в 1988 году до кардинальной трансформации, связанной с переездом в 2016 году на новую площадку в урочище Сосновка. Анализируются этапы строительства, масштаб инвестиций, архитектурные решения и развитие коллекции животных. На основе официальных источников демонстрируется, как увеличение территории с 3,39 до 25 гектаров позволило внедрить современные стандарты содержания животных, основанные на принципах географического зонирования и максимального приближения условий к естественным, превратив зоопарк в центр экологического просвещения и семейного отдыха.

Ключевые слова: Белгородский зоопарк, урбанистика, экологическое просвещение, географическое зонирование, инфраструктурное развитие, зоологические коллекции, государственно-частное партнёрство.

История Белгородского зоопарка началась 5 августа 1988 года, когда на базе живого уголка в парке «Победа» был открыт зооуголок. В 1991 году решением исполкома Белгородского Совета народных депутатов № 143 от 15 марта было образовано Муниципальное учреждение культуры «Белгородский зоопарк» как отдельное юридическое лицо. В течение 25 лет зоопарк располагался в центре города на берегу реки Везёлка на территории площадью 3,39 га, что объективно ограничивало возможности для расширения коллекции и внедрения современных стандартов содержания животных. За первые 27

лет существования коллекция зоопарка увеличилась в 2,7 раза, были введены в эксплуатацию 28 вольеров, однако дефицит пространства оставался ключевой проблемой развития.

Коренной перелом наступил в марте 2010 года, когда властями Белгорода было принято решение о переносе зоопарка в урочище Сосновка на пересечении улиц Волчанская и Песчаная, где был выделен участок площадью 25 гектаров. Строительно-монтажные работы развернулись в 2014 году. Основным инвестором выступила ГК «Агро-Белогорье» во главе с председателем Совета директоров Вла-

димиром Зотовым, также в финансировании участвовали около 30 предприятий и меценатов из Белгорода, Москвы, Старого Оскола и Губкина. Общий объём инвестиций в создание нового зоопарка превысил 400 млн рублей.

Торжественное открытие нового зоопарка состоялось 1 июня 2016 года, в Международный день защиты детей. В первый день комплекс посетили около 8 тыс. белгородцев. К ноябрю 2016 года количество гостей превысило 300 тысяч человек, что, по оценке Владимира Зотова, стало «неожиданной» цифрой, свидетельствующей о востребованности подобных объектов культурно-познавательного отдыха у жителей региона.

Территория зоопарка площадью 25 гектаров вмещает 43–47 экспозиций с просторными уличными вольерами и отапливаемыми помещениями для зимовки. Для водоплавающих птиц обустроено искусственное озеро с водной гладью около 2 гектаров. Важнейшим нововведением стал принцип географического зонирования: пешеходные маршруты пролегают через несколько зон согласно естественным ареалам обитания животных: Дальний Восток, Русский Север, Европу, Азию, Америку и Австралию. В отдельную зону выделены животные, обитающие на территории Белгородской области. Данное решение отвечает современным представлениям зоологической педагогики о необходимости создания для животных условий, максимально приближенных к естественным, и одновременно выполняет просветительскую функцию.

Из старого в новый зоопарк переехали все обитатели. Сегодня коллекция насчитывает более 350 особей около 120 видов. Гордость зоопарка — крупные кошачьи: африканские львы, леопарды, пумы, рыси, амурские тигры. Также представлены редкие виды волков (европейские, белые, чёрный канадский волк), копытные (муфлоны, лани, ламы), приматы и множество видов птиц, включая индийских синих и белых павлинов.

Особого внимания заслуживает Экзотариум, открывшийся 3 декабря 2016 года. Это помещение площадью 900 м², в котором созданы идеальные климатические и ландшафтные условия для теплолюбивых животных. Экзотариум оформлен в виде тропического леса, содержит 10

экспозиций — вольеры для попугаев, обезьян, рептилий и других животных, а также 10 террариумов вдоль стен и на специальном подиуме в центре зала. В оформлении уникального помещения участвовали студенты и преподаватели Белгородского государственного института искусств и культуры. В коллекции Экзотариума представлено 123 экземпляра 30 различных видов: пять видов ящериц и семь видов змей (королевский питон, амурский полоз, маисовый полоз, обыкновенный удав, сетчатый питон и др.), обезьяны, азиатские выдры, красноухие черепахи, чёрно-белый лемур, игуана и полосатый варан.

Для посетителей предусмотрены автомобильная и велосипедная парковки, сувенирный магазин, контактная площадка, кафе, пикниковая зона и детские площадки. В летний сезон зоопарк работает с 10:00 до 21:00, в зимний — с 10:00 до 18:00; выходной день — второй понедельник месяца.

Переезд Белгородского зоопарка из ограниченного пространства центра города на просторную площадку в урочище Сосновка стал качественным скачком в его развитии, превратив локальный зооуголок в современный зоопарк европейского уровня. Территория в 25 гектаров позволила внедрить географическое зонирование, создать просторные вольеры и построить Экзотариум, отвечающий мировым стандартам содержания экзотических животных. Уникальной особенностью проекта является его реализация преимущественно за счёт частных инвестиций (более 400 млн рублей) и система попечительства, при которой более 30 меценатов взяли на себя обязательства по содержанию животных. Зоопарк стал не только местом сохранения биоразнообразия, но и значимым социокультурным центром Белгородской агломерации, выполняя рекреационную, образовательную и просветительскую функции, что подтверждается стабильно высоким числом посетителей (более 300 тыс. за первые полгода работы). Опыт Белгородского зоопарка представляет интерес с точки зрения исследования моделей государственно-частного партнёрства в сфере культуры и может быть применён при развитии аналогичных объектов в других регионах.

Литература:

1. Белгородский зоопарк // Википедия. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Белгородский_зоопарк.
2. О зоопарке // Официальный сайт Белгородского зоопарка. — URL: <https://belzooпарк.ru/>.
3. В Белгороде открывается новый зоопарк в урочище Сосновка // Аргументы и факты — Черноземье. — 2016. — 31 мая. — URL: https://chr.aif.ru/belgorod/events/v_belgorode_otkryvaetsya_novyy_zoopark_v_urochishche_sosnovka.

Комплексное маркетинговое исследование при географической экспансии сервисных компаний HoReCa: методология и результаты

Седлова Анна Александровна, студент

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Пермский филиал

В статье представлена методология и результаты комплексного маркетингового исследования, направленного на обоснование географической экспансии специализированной кофейни и адаптацию комплекса маркетинга 7P к условиям нового рынка. Исследовательская проблема состоит в отсутствии у растущих сервисных компаний HoReCa-сегмента верифицированной информационной базы о целевых рынках, необходимой для принятия обоснованных стратегических решений об экспансии. Для решения данной проблемы разработана последовательная шестиступенчатая программа смешанного исследования, охватывающая количественную сравнительную оценку городов-кандидатов по трём аналитическим методикам, парсинг аудитории конкурентов в социальных сетях, глубинные интервью с потребителями ($n = 12$) и онлайн-опрос ($n = 107$) с последующим кластерным анализом. По результатам исследования выявлены три устойчивых потребительских сегмента с принципиально различными иерархиями факторов выбора; разработана и экономически обоснована двухэтапная программа адаптации комплекса маркетинга 7P для приоритетного целевого рынка. Предложенная методология представляет воспроизводимую исследовательскую модель, применимую для любого сервисного бренда, планирующего внутрирыночную географическую экспансию.

Ключевые слова: географическая экспансия, комплекс маркетинга, 7P, HoReCa, выбор целевого рынка, кластерный анализ, смешанный дизайн исследования, *specialty*-кофейни.

1. Введение

Рынок кофеен в России демонстрирует устойчивый рост: по данным отраслевых исследований, число кофейных заведений в городах-миллионниках ежегодно увеличивается в среднем на 10–13 %, а культура потребления кофе вне дома приобретает характер массового поведения (Наталина и Петухова, 2025). Насыщение домашних рынков побуждает успешные региональные бренды рассматривать географическую экспансию как основной вектор роста. Однако экспансия сопряжена с принципиальным информационным дефицитом: компания, как правило, не располагает систематизированными данными о потребительском поведении, уровне конкуренции и специфике спроса на целевых рынках.

Степанова и др. (2015) описывают типичную ошибку экспансии как перенос существующей бизнес-модели на новый рынок без достаточной адаптации, результатом чего становится «денежный капкан» — стабильный отток ресурсов при видимости развития. Данная проблема становится особенно острой для предприятий HoReCa, где конкурентное преимущество формируется не единственным продуктом, а целостным потребительским опытом, складывающимся из взаимодействия всех элементов расширенного комплекса маркетинга (Booms и Bitner, 1981).

Исследовательский вопрос настоящей работы: каким образом последовательная смешанная методология позволяет обосновать выбор целевого рынка и разработать адаптированный комплекс маркетинга 7P для сервисного бренда, планирующего географическую экспансию внутри страны? Компания X — региональная сеть *specialty*-кофеен (Город 1), рассматривающая два города-кандидата для открытия первой точки за пределами домашнего

рынка, — используется как иллюстративный объект применения предлагаемой методологии.

2. Теоретическое обоснование

Теоретической рамкой исследования служит концепция расширенного комплекса маркетинга 7P, разработанная Бумсом и Битнером (1981) применительно к сервисным предприятиям. В отличие от товарной модели 4P (McCarthy, 1978), модель 7P добавляет элементы «Персонал», «Процессы» и «Физическое окружение», отражающие специфику услуг — неосвязаемость, неотделимость, непостоянство и несохраняемость (Котлер и Келлер, 2007). В секторе HoReCa данные характеристики делают ценность предложения принципиально неотделимой от качества взаимодействия: бариста, планировка пространства, скорость обслуживания и атмосфера заведения являются не вспомогательными, а конституирующими компонентами продукта (Куренова и др., 2024).

Применительно к задаче выбора целевого рынка ключевыми теоретическими ориентирами выступают работы Тюрина (2025), определяющего ёмкость рынка, конкурентную структуру и барьеры входа как обязательные параметры анализа регионального рынка, а также Максименко и др. (2024), предложивших систему из трёх методик оценки привлекательности ресторанных рынков. Наталина и Петухова (2025) указывают на зрелость кофейной культуры как самостоятельный предиктор принятия нового *specialty*-бренда потребителями. Чеглов и Чеглов (2016) эмпирически демонстрируют, что успешные стратегии территориальной экспансии предполагают не механическое воспроизведение бизнес-модели, а её содержательную адаптацию к специфике каждого регионального рынка.

3. Методология исследования

Исследование реализовано в рамках смешанного дизайна, предполагающего последовательное использование качественных и количественных методов на шести этапах. Выбор смешанного дизайна обусловлен двойным требованием: с одной стороны, необходимостью глубокого понимания потребительских мотиваций и рыночного контекста, с другой — получением статистически репрезентативных данных для проверки гипотез.

Таблица 1. Дизайн исследования

Этап	Название	Методы	Результат
1	Описание текущего состояния компании и рынков	Экспертное интервью с руководством, анализ вторичных данных	Текущий комплекс маркетинга 7Р компании
2	Сравнительный анализ рынков-кандидатов	Методики Ламбена, Канунникова, Ерчака; РАМ/ТАМ/САМ/СОМ	Обоснованный выбор приоритетного города
3	Конкурентный анализ целевого рынка	Сравнительный анализ комплекса маркетинга конкурентов (n = 9 заведений)	Карта конкурентов, гипотезы о продукте и цене
4	Анализ аудитории через социальные сети	Парсинг подписчиков групп ВКонтакте конкурентов (n = 9 184 профилей)	Социально-демографический профиль аудитории целевого рынка
5	Качественное исследование	Глубинные интервью (n = 12)	Поведенческие паттерны, гипотезы (Н1-Н6)
6	Количественное исследование	Онлайн-опрос (n = 107), кластерный анализ (метод Варда)	Верификация гипотез, потребительские сегменты, рекомендации по 7Р

Выбор целевого рынка (этап 2) осуществлялся с применением трёх методик, каждая из которых раскрывает отдельный аспект привлекательности рынка. Метод Ж.-Ж. Ламбена обеспечивает первичный рейтинг через взвешенное среднее долей города по численности населения, доходам и обороту общественного питания. Методика С. Канунникова позволяет оценить реальную платёжеспособность населения через соотношение доходов, прожиточного минимума и оборота общественного питания на душу населения. Матричная модель А. И. Ерчака (описанная в Максименко и др., 2024) добавляет ось конкурентной позиции входящего игрока, обеспечивая двумерное позиционирование каждого рынка. Дополнительно применялась модель РАМ/ТАМ/САМ/СОМ для количественной оценки реально достижимой выручки.

На качественном этапе использовался метод глубинного интервью с тематическим кодированием транскрипций по элементам 7Р. Информанты (n = 12) рекрутировались через социальные сети в целевом городе по критериям: возраст 18–45 лет, частота посещения кофейен не реже одного раза в неделю. На количественном этапе проводился онлайн-опрос (n = 107); критерии выбора кофейни измерялись по шкале Лайкерта (1–5). Для сегментации аудитории применялся иерархический кластерный анализ методом Варда с евклидовой метрикой расстояния; оптимальное число кластеров определялось по дендрограмме.

4. Результаты

4.1. Выбор целевого рынка

В качестве городов-кандидатов рассматривались Город 2 и Город 3; Город 1 (домашний рынок компании X) включён в анализ как эталонный рынок для сравнения. Сводные результаты по трём методикам представлены в таблице 2.

По совокупности трёх методик Город 2 занимает первую позицию среди городов-кандидатов. Индекс Ламбена (34,8) превышает показатель эталонного рынка (33,2), что означает более высокую совокупную покупательную способность. Методика Канунникова подтвер-

Таблица 2. Сравнительная оценка рынков-кандидатов

Параметр	Город 3	Город 2	Город 1 (эталон)
Среднедушевой доход, руб./мес. (2025)	49 124	59 390	61 588
Численность населения, чел.	1 012 219	1 154 223	1 027 518
Индекс Ламбена (среднее долей)	32,0	34,8	33,2
Темп роста рынка кофейен, %	8	13	13
Уровень кофейной культуры	Средний	Высокий	Высокий
Насыщённость рынка кофейен	Низкая	Средняя	Высокая
Соответствие формата компании X рынку (Ерчак)	Среднее	Высокое	Высокое
Количество торговых центров, ед.	54	102	177

ждает экономическое превосходство: среднедушевой доход Города 2 уступает эталонному лишь на 3,5 %, тогда как разрыв Города 3 составляет 20,3 %. Матрица Ерчака позиционирует Город 2 в том же квадранте, что и эталонный рынок («высокая привлекательность рынка — высокая конкурентная позиция»), тогда как Город 3 оказывается в квадранте умеренного соответствия. Расчёт SOM показал, что достижимая выручка первой точки в Городе 2 составит 8,5 млн руб./год при базовом сценарии (83 транзакции в день, средний чек 350 руб.), в Городе 3 — 7,3 млн руб./год. Таким образом, Город 2 выбран приоритетным рынком для экспансии.

4.2. Исследование потребителей целевого рынка

На основе парсинга 9 184 профилей подписчиков конкурентов в социальных сетях установлен предварительный демографический профиль аудитории целевого рынка: женщины — 75,4 %, мужчины — 24,6 %; ядро аудитории — возраст 23–45 лет. Профиль практически совпадает с аудиторией компании X на эталонном рынке (женщины — 73,6 %), что свидетельствует о структурной однородности потребительских баз.

В ходе 12 глубинных интервью выявлены устойчивые паттерны потребительского поведения, структуриро-

ванные по элементам 7Р. Качество напитка и атмосфера заведения идентифицированы как доминирующие факторы выбора; кофейня устойчиво описывается информантами как «третье место» (Oldenburg, 1999) — пространство социальной коммуникации и рабочей деятельности вне дома. Ценовая чувствительность охарактеризована как контекстуально обусловленная, а не абсолютная: комфортный диапазон трат — 200–400 руб. за визит. На основе интервью сформулированы шесть гипотез (H1–H6), проверенных на количественном этапе.

Онлайн-опрос (n = 107) подтвердил все шесть гипотез. Иерархия критериев выбора кофейни возглавляется качеством напитка (4,38 балла по шкале Лайкерта), на второй позиции — атмосфера и уют (4,19), что значимо опережает доступную цену (3,72). Данное соотношение подтверждает H2: в условиях целевого рынка инвестиции в физическое окружение стратегически приоритетнее ценовых уступок. Социальные сети занимают первое место среди каналов открытия новых заведений (67,3 % выборки), а 61 % респондентов демонстрирует открытость к новым кофейным брендам, в том числе не представленным ранее на рынке.

Кластерный анализ методом Варда выявил три устойчивых потребительских сегмента, представленных в таблице 3.

Таблица 3. Потребительские сегменты целевого рынка (результаты кластерного анализа, n = 107)

Кластер	Доля, %	Ключевые ценности	Ведущие элементы 7Р	Инструменты работы
1 «Гурман» (29–35 лет, ~50/50 м/ж)	29,0	Квалификация бариста (4,2), качество зерна, спокойная обстановка; чувствительность к цене умеренная (2,9)	Product, People	Каппинги, экспертный контент
2 «Случайный» (18–22 лет, 79 % ж)	29,9	Доступная цена (4,1), удобное расположение; слабое знакомство со specialty-культурой	Price, Place	Акции при открытии, программа лояльности
3 «Регуляр» (36–45 лет, 75 % ж)	39,3	Качество напитка (4,7) и атмосфера (4,7) одновременно; программа лояльности (3,6), рабочее пространство	Product, Physical Evidence, People, Promotion	Коллаборации с локальными инфлюенсерами, персонализированный сервис

4.3. Программа адаптации комплекса маркетинга 7Р

На основе данных трёх этапов потребительского исследования разработана двухэтапная программа мероприятий, адресующая конкретные разрывы между текущей бизнес-моделью компании X и ожиданиями целевого рынка. Предварительный этап (5 месяцев до открытия) включает: выбор street-локации в историческом центре с визуально заметной входной группой (ответ на паттерн случайного обнаружения заведений); зонирование интерьера на рабочую и социальную зоны (ответ на запрос «третьего места», зафиксированный в интервью); создание самарского аккаунта в социальных сетях с тизер-контентом об открытии; курс по клиентским комму-

никациям для новой команды бариста. Основной этап (с момента открытия) предполагает: запуск food-pairing как инструмента повышения среднего чека без дополнительных затрат; сегментированную событийную активацию (каппинг-сессии для Кластера 1, ивенты для Кластера 2, коллаборации с локальными инфлюенсерами для Кластера 3); контент-стратегию «внутренняя кухня» для формирования доверия к новому игроку через показ процессов и команды.

Бюджет программы мероприятий составляет 1 131 500 руб. Прогнозная финансовая модель при базовом сценарии (83 транзакции в день) даёт операционную прибыль 1 435 594 руб. за первые семь месяцев работы при рентабельности 26,7 %. Срок окупаемости капитальных

вложений (2 200 000 руб.) в базовом сценарии составляет около 10,7 месяца. Наиболее окупаемым точечным мероприятием оказались коллаборации с микроинфлюенсерами: ROI 264 % при допущении о 10-процентном приросте трафика в месяц активации.

5. Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие научные выводы. Во-первых, последовательное применение трёх конкурирующих методик оценки рынка (Ламбена, Канунникова, Ерчака) в совокупности с моделью PAM/TAM/SAM/SOM обеспечивает многомерную и внутренне непротиворечивую основу для выбора города экспансии, которая не достижима при использовании какого-либо одного подхода. Во-вторых, включение эталонного «домашнего» рынка как точки сравнения позволяет операционализировать понятие «подходящего рынка» через измеримое структурное сходство, а не абстрактные критерии. В-третьих, кластерный анализ потребительских данных демонстрирует, что аудитория кофейного рынка принципиально неоднородна: выявленные три сегмента предъявляют настолько различные требования к элементам 7P, что универсальный

маркетинговый микс без учёта сегментации оказывается неэффективным ни для одного из них.

В-четвёртых, эмпирически установлено, что на целевом рынке атмосфера и физическое окружение заведения (4,19 балла) значительно превышают цену (3,72 балла) в иерархии факторов выбора. Это прямо противоречит интуитивному предположению о ценовой доминанте в условиях среднего ценового сегмента и указывает на необходимость приоритизации инвестиций в Physical Evidence. В-пятых, предложенная шестистапная программа исследования воспроизводима для любого сервисного бренда NoReCa, рассматривающего внутрирыночную географическую экспансию: она не привязана к специфике конкретной компании или товарной категории.

Ограничением исследования является объём количественной выборки ($n = 107$), рекрутированной по методу «снежного кома» через социальные сети, что снижает её репрезентативность для всей совокупности потребителей целевого рынка. Дальнейшие исследования целесообразно направить на лонгитюдную верификацию точности прогнозной финансовой модели по результатам фактической работы первой точки, а также на расширение сравнительной базы исследования за счёт включения большего числа городов-кандидатов.

Литература:

1. Booms B. H., Bitner M. J. Marketing strategies and organization structures for service firms // *Marketing of Services*. — 1981. — P. 47–51.
2. Котлер Ф., Келлер К. Л. Маркетинг менеджмент. — СПб.: Питер, 2007. — 816 с.
3. Куренова Д. Г. и др. Инструменты маркетинга впечатлений в продвижении предприятий общественного питания // *КЭ*. — 2024. — № 3.
4. Максименко И. А., Вашко Т. А., Здрестова-Захаренкова С. В. Оценка привлекательности ресторанных рынков регионов Сибирского федерального округа // *Вестник КемГУ. Серия: Политические, социологические и экономические науки*. — 2024. — Т. 9. — № 3. — С. 467–478.
5. McCarthy E. J. *Basic Marketing: A Managerial Approach*. — Homewood: Irwin, 1978.
6. Наталья Т. В., Петухова С. В. Стратегический анализ рынка чая и кофе в России: тенденции и перспективы развития // *Экономика и бизнес: теория и практика*. — 2025. — № 11 (129).
7. Oldenburg R. *The Great Good Place*. — New York: Marlowe & Co., 1999.
8. Степанова Т. В. и др. О технологии выхода на новый региональный рынок // *Концепт*. — 2015. — № S6.
9. Тюрин Д. В. Особенности анализа регионального отраслевого рынка // *Практический маркетинг*. — 2025. — № 1.
10. Усова В. В. Рекламная и маркетинговая поддержка нового товара при выводе на российский рынок // *Вестник евразийской науки*. — 2014. — № 2 (21).
11. Чеглов В. П., Чеглов А. В. О регулировании региональной экспансии интегрированных торговых систем // *Торгово-экономический журнал*. — 2016. — Т. 3. — № 2. — С. 131–146.
12. Щербинина Л. Ю. и др. Технология конкурентного бенчмаркинга для выхода региональной компании на новый рынок // *Сервис в России и за рубежом*. — 2025. — № 3.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 32 (635) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.

Номер подписан в печать 19.08.2026. Дата выхода в свет: 26.08.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.