

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



48 2025
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 48 (599) / 2025

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 *Пётр Петрович Семёнов-Тянь-Шанский* (1827–1914), русский ученый-естествоиспытатель и путешественник, экономист, государственный и общественный деятель.

Пётр Петрович Семёнов-Тянь-Шанский родился в семье отставного капитана лейб-гвардии Измайловского полка, писателя-драматурга Петра Николаевича Семёнова, который, выйдя в отставку, женился на Александре Петровне Бланк, внучке известного московского архитектора Карла Бланка, и обосновался в поместье Рязанка. Молодого человека всегда тянуло к науке, и после окончания школы гвардейских подпрапорщиков он смог поступить на естественное отделение Петербургского университета.

Выдержав экзамен на степень кандидата, в 1849 году Семёнов был избран в члены Императорского Русского географического общества, и с этого времени принимал самое деятельное участие в работе общества как секретарь отделения физической географии, потом — как председатель того же отделения и, наконец, как вице-председатель общества (с 1873 года).

Первой экспедицией Петра Петровича стал переход из Петербурга в Москву через Новгород с изучением растительности. Она продолжилась затем в чернозёмной полосе России, в Воронежской губернии, в верхнем течении Дона. В результате он защитил диссертацию на звание магистра ботаники. Потом последовало путешествие по Европе и продолжение учёбы в Берлинском университете. Там Семёнов познакомился с выдающимся учёным XIX столетия Александром Гумбольдтом, с которым поделился своими планами исследования Центральной Азии. «Привези мне образец вулканической породы с Тянь-Шаня», — просил его Гумбольдт.

В 1853–1855 годах Семёнов работал в Германии, побывал в Швейцарии, Италии и Франции, где продолжал свои исследования в области географии и геологии. Однако его настоящая страсть влекла его к изучению Тянь-Шаня. Издав в 1856 году первый том перевода «Землеведения Азии» Карла Риттера с дополнениями, равными по объёму самому оригиналу, Семёнов предпринял по поручению Русского географического общества экспедицию для исследования горной системы Тянь-Шаня, являвшейся тогда местностью, недоступной для европейцев. В течение двух лет Семёнов посетил Алтай, Тарбагатай, Семиреченский и Заилийский Алатау, озеро Иссык-Куль, первым из европейских путешественников проник в Тянь-Шань и первым поднялся на высочайшую горную группу — Хан-Тенгри.

На Иссык-Куле Семёнов искал упомянутый на каталанской карте христианский монастырь, отождествляемый в настоящее время с археологическим комплексом в Ак-булуне. В это время им были собраны богатые коллекции по естественной истории и геологии страны. Ри-

сунки томского художника П. М. Кошарова, сделанные им во время экспедиции Семёнова, хранятся в архиве Русского географического общества в Санкт-Петербурге. Императорским указом от 23 ноября (6 декабря) 1906 года за заслуги в открытии и первом исследовании горной страны Тянь-Шань к его фамилии «с нисходящим потомством» была присоединена приставка Тянь-Шанский.

В 1873 году Семёнов-Тянь-Шанский был избран вице-президентом Русского географического общества и беспрерывно занимал этот пост вплоть до своей смерти в 1914 году. Он опубликовал книгу, посвященную истории общества за первые 50 лет его существования, организовал и возглавил несколько экспедиций, которые, в числе прочего, сыграли важную роль в развитии статистического дела в России. Впоследствии, в 1897 году Семёнов-Тянь-Шанский провел первую всеобщую перепись населения России.

В 1888 году Семёнов совершил поездку по Закаспийской области и Туркестану, результатом которой стали обширные энтомологические коллекции, пополнившие его громаднейшее собрание насекомых, и статья «Туркестан и Закаспийский край в 1888 году». Кроме вышеупомянутых работ, Семёнов написал целый ряд статей и очерков по разным вопросам географии (например, введения ко всем томам «Живописной России», выходившей под его редакцией, и все статьи по географии в «Энциклопедическом словаре», выходившем в 1860-х годах). В 1893 году он участвовал в составлении сборника «Сибирь, Великая сибирская железная дорога», изданного министерством финансов для всемирной выставки в Чикаго, и в том же году написал статью «Колонизационная роль России».

Пётр Петрович был не только выдающимся ученым, но и обаятельным человеком. Все без исключения его биографы и авторы воспоминаний отмечают острый ум, бескорыстную преданность науке, отзывчивость, чуткость, гуманность, кипучую энергию и настойчивость.

Заслуги Петра Семёнова-Тянь-Шанского были признаны не только в России, но и за ее пределами. Более 60 академий наук по всему миру избрали его своим почетным членом, а открытия и исследования ученого получили многочисленные награды и премии.

Пётр Петрович Семёнов-Тянь-Шанский умер в Петербурге 26 февраля (11 марта) 1914 года от воспаления лёгких на 88-м году жизни. Похоронен на Смоленском православном кладбище.

В честь него было названо около ста новых видов растений и насекомых, а также 11 точек на карте, где побывал великий исследователь.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бакирбаев С. Б.

Сравнительный анализ методов оптимизации
в машинном обучении для анализа Big Data
в медицине 1

Гелюш Н. Д.

Анализ методов и инструментов
оптимизации в образовательной среде.
Использование оптимизации в облачных
системах на примере Google Classroom 5

Мухамбетсаги Д. Ш.

Проектирование образовательного
веб-ресурса: интеграция механизмов
пользовательской кастомизации 11

Пронина А. И.

Методы анализа и моделирования данных.
Инжиниринг больших данных 13

Селезнёв А. И., Селезнёв И. Л.

Особенности организации конвейера данных
с использованием брокера сообщений
Apache Kafka в системах обработки данных 15

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Букин Д. А., Кузенёв Д. С., Мухин А. С.

Современные подходы к управлению
устройствами силовой электроники 20

Зыков Е. С.

Перспективные направления строительства
дорог с цементобетонным покрытием 23

Кауров А. С.

Оценка инновационности инженерных
решений Александра Владимировича Соколова ... 24

Ледовских Д. Г.

Разработка облика комплексного
испытательного стенда современных
узкофюзеляжных воздушных судов
гражданского назначения 28

Лысенко М. Д., Савлюков И. А.

Влияние человеческого фактора на систему
управления безопасностью полетов
при управлении воздушным движением 32

Петров А. В.

Характеристики аккумулятора для
высокоскоростной передачи данных 34

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Гузеева В. Ю.

3Dпечать дорожных покрытий:
перспективы и первые кейсы 38

МЕДИЦИНА

Акулина М. В., Афонина Н. А.

Профессиональное развитие персонала
медицинского вуза: вызовы и решения 41

Зубков В. С.

Современные представления
о патофизиологии злокачественной
меланомы кожи 45

Ишутин Р. Д., Федотчева А. М.

Сахарный диабет в исходе острого
и хронического панкреатитов. Развитие
панкреатогенного сахарного диабета 47

Ишутин Р. Д.

Психологическая помощь в паллиативной
практике 49

Потрашков Р. В.

Атопический дерматит:
патофизиологические механизмы,
клинические проявления 50

Рашидова Р. З.

Цифровой прорыв в неврологии:
как VR-технологии меняют парадигму
восстановления пациентов после инсультов 52

Серобаба В. А.

Патофизиология аутоиммунных
гемолитических анемий 55

Федотчева А. М., Ишутин Р. Д.

«Тигровое сердце» как индикатор тяжелой
гипоксии: связь между морфологией
и системными нарушениями транспорта
кислорода 58

ФАРМАЦИЯ И ФАРМАКОЛОГИЯ

Попов М. Д.

Анализ методов прогнозирования
потребности в препаратах перечня жизненно
необходимых и важнейших лекарственных
препаратов 60

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сравнительный анализ методов оптимизации в машинном обучении для анализа Big Data в медицине

Бакирбаев Саян Батырханович, студент магистратуры
Научный руководитель: Ким Екатерина Романовна, ассоциированный профессор
Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

Статья рассматривает методы оптимизации, применяемые в задачах машинного обучения (ML) для анализа больших медицинских данных: от градиентных и адаптивных алгоритмов до гиперпараметрической оптимизации, распределённого/федеративного обучения и приватности (DP-SGD). Обсуждаются особенности медицинских датасетов (мультицентричность, дисбаланс классов, сдвиг данных во времени), практики надёжной валидации и калибровки, а также требования к безопасности и управлению данными. Приводятся примеры медицинских кейсов и практические рекомендации для исследовательских групп и клиник.

Ключевые слова: Big Data, здравоохранение, машинное обучение, оптимизация, гиперпараметры, федеративное обучение, дифференциальная приватность, калибровка, распределённое обучение.

Comparative analysis of optimization techniques in machine learning for Big Data analysis in medicine

Bakirbayev Sayan Batyrkhanovich, master's student
Scientific advisor: Kim Yekaterina Romanovna, associate professor
University «Turan» (Almaty, Kazakhstan)

The article examines optimization methods used in machine learning (ML) tasks for analyzing large medical data: from gradient and adaptive algorithms to hyperparametric optimization, distributed/federated learning and privacy (DP-SGD). The features of medical datasets (multicentricity, class imbalance, data shift over time), reliable validation and calibration practices, as well as security and data management requirements are discussed. Examples of medical cases and practical recommendations for research groups and clinics are provided.

Keywords: Big Data, healthcare, machine learning, optimization, hyperparameters, federated learning, differential privacy, calibration, distributed learning.

Введение

Big Data в медицине (ЭМК/EHR, медицинская визуализация, геномика, данные носимых устройств) формирует новые требования к методам оптимизации: алгоритмы должны масштабироваться, быть устойчивыми к сдвигам распределений и поддерживать приватность пациентов. Врачу и исследовательской команде важно не только «натренировать модель», но и выстроить процесс выбора гиперпараметров, валидации, контроля дрейфа и безопасного развёртывания. На практике это означает комбинацию: (1) эффективного обучения (SGD/адаптивные варианты, мини-батчи, параллелизм), (2) корректного

подбора гиперпараметров (байесовская оптимизация, многоуровневые подходы/ Multi-fidelity HPO), (3) процедурной и технической защиты данных (федеративное обучение, дифференциальная приватность), (4) метрик, отражающих клиническую полезность и устойчивость во времени. Современные обзоры подтверждают быстрый прогресс по всем этим направлениям.

Определение основных терминов

Оптимизация (в ML) — процесс нахождения параметров модели, минимизирующих функцию потерь на данных обучения, и/или выбора конфигурации гиперпа-

раметров, максимизирующей итоговое качество на валидации.

Гиперпараметры — настраиваемые извне величины (скорость обучения, глубина деревьев, коэффициенты регуляризации, размер мини-батча и т. п.), не обновляемые градиентом.

Big Data в медицине — совокупность медицинских данных, характеризующихся объёмом/скоростью/разнообразием (EHR, DICOM-изображения, омика, сигналы), требующих масштабируемых алгоритмов и инфраструктуры.

Калибровка вероятностей — согласование предсказанных вероятностей модели с наблюдаемыми частотами событий, критично для клинических решений (пороги вмешательства).

Федеративное обучение (FL) — схема, при которой учреждения обучают локальные модели и обмениваются моделями/градиентами без передачи сырых данных.

Дифференциальная приватность (DP) — математическая гарантия, ограничивающая влияние отдельного пациента на результат обучения (обычно через обрезку и шум в градиентах).

Медицинские ML-сценарии накладывают особенности: дисбаланс классов (редкие исходы), дрейф практик во времени, мультицентричность, жёсткая регуляторика и требование интерпретируемости/надёжности.

1. Оптимизация обучения: от SGD до адаптивных методов

Стохастический градиентный спуск (SGD) остаётся базовым методом для больших данных: он работает на мини-батчах и хорошо параллелится. Адаптивные модификации (Adam, RMSProp, Adagrad) ускоряют сходимость в задачах с разреженными/шумными градиентами и сложным рельефом функции потерь. Систематические обзоры последних лет фиксируют тренд на гибридные/многоступенчатые схемы (например, «warm-up + SGD») и на регуляризацию, улучшающую обобщающую способность на медицинских задачах. [1]

Распределённое обучение. Для truly-big датасетов критично разделение данных/градиентов по узлам (data/model parallelism), что поддерживается в фреймворках (PyTorch DDP, Horovod, Spark MLlib). Для классических моделей (градиентный бустинг) доказавшие масштабируемость реализации (например, XGBoost/LightGBM) часто остаются бенчмарками в табличных клинических задачах. Обобщённые сравнительные исследования по крупным медицинским когортам подтверждают актуальность таких стеков. [7]

2. Оптимизация гиперпараметров (HPO)

Подбор гиперпараметров (learning rate, weight decay, глубина деревьев, пороги, размеры слоёв и др.) критичен для клинической эффективности и воспроизводимости. Современные HPO-подходы включают:

Байесовскую оптимизацию (BO): вероятностную модель функции качества (чаще Gaussian Process/TPE) с правилом выбора проб (EI/PI/UCB). Удобна при дорогих запусках и ограниченном бюджете экспериментов; показала эффективность в медицинских задачах (в т. ч. для XGBoost на медицинских когортах). [15]

Эволюционные/роевые методы и стохастические поиски, полезные при дискретных/смешанных пространствах и сложных архитектурах. [10,11]

Multi-fidelity HPO (многоуровневая оптимизация гиперпараметров с моделями разной точности): ранняя остановка/усечение (Successive Halving/Hyperband), понижение «точности» ресурса (меньше эпох, меньше данных) для быстрого отсева вариантов, затем дообучение лучших на полной «фидельности». [10,11]

Практическая рекомендация для медицины: сочетать Multi-fidelity HPO методы (для широты поиска) с BO (для тонкой доводки) и фиксировать протокол HPO ради воспроизводимости в клинических отчётах. [15]

3. Валидация, метрики и калибровка под клинику

Медицинские данные часто не сбалансированы (редкие события) и дрейфуют во времени (изменения практик, популяций). Следствия:

Метрики. Помимо AUROC имеет смысл использовать AUPRC, особенно при сильном дисбалансе; при этом выбор метрики должен соответствовать управленческой задаче (чувствительность/PPV, шкалы риска). Недавние работы уточняют взаимосвязь AUROC и AUPRC и предостерегают от механистического предпочтения одной метрики. [14]

Калибровка вероятностей (Platt/изотоническая регрессия, ECE, Brier score) важна для стратификации риска и принятия решений. В медицинских оценках калибровку рекомендуется мониторить во времени. [7]

Временная валидация. Разделение train/val/test по времени (rolling/forward validation) лучше отражает будущую работу модели; мониторинг дрейфа (performance drift) и пересмотр гиперпараметров — обязательная часть MLOps в клинике. [6]

4. Оптимизация под конфиденциальность и мультицентричность

Федеративное обучение (FL) позволяет обучать общую модель по данным разных клиник без обмена сырыми данными. Для медицины это соответствует нормативным ограничениям и повышает внешнюю валидность за счёт гетерогенных когорт. Свежие обзоры формулируют практические рекомендации по безопасности, коммуникационным издержкам и управлению FL-проектами, а также по «мультимодальному» FL (изображения+текст+таблицы). [3]

Дифференциальная приватность (DP-SGD). Встраивание DP-механизмов в обучение снижает риск утечки, но

ухудшает метрики; в медицине активно изучаются компромиссы «приватность-качество» и пользовательский (user-level) учёт при неодинаковом числе записей на пациента. Для медицинской визуализации и DL показана реализуемость DP-тренировки; современные обзоры (2025) систематизируют подходы и trade-offs. [4]

5. Регуляризация и устойчивость

Для табличных медицинских данных по-прежнему эффективны L1/L2/Elastic Net, ранняя остановка, dropout/разбавление признаков, а для изображений — mixup/аугментации. Методы понижения размерности (PCA, LDA и др.) снижают переобучение и ускоряют оптимизацию, что особенно актуально на больших когортах. [13]

6. Медицинские кейсы и практические наблюдения

Прикладные платформы медицинской аналитики ориентируются на «сквозной» процесс: подготовка данных, выбор/обучение нескольких ML-методов и выпуск ин-

терпретируемых отчётов (в т. ч. с ранжированием информативных признаков и планом коррекции факторов риска). Такой подход коррелирует с описанными выше «best practices» (надёжная валидация, понятные метрики, фокус на действиях врача).

Наряду с классическими задачами (классификация ЭЭГ, скрининг онкологии по иммунному профилю, предикция предгипертонии) устойчивый эффект дают: грамотный НРО, калибровка, учёт дисбаланса и мониторинг дрейфа в проде — все они прямо влияют на клиническую применимость и доверие. [7]

Ограничения и риски

Оптимизация может «подгонять» модель к историческим данным при слабом дизайне валидирования; приватность (DP) снижает метрики, а FL добавляет накладные расходы и угрозы атак на градиенты. Требуется прозрачная отчётность, воспроизводимые пайплайны и оценка клинической полезности (decision-curve analysis) наряду с ROC/PR. [7]

Таблица 1. Сравнительный анализ методов оптимизации Big Data в ML

Класс метода	Когда применять	Сильные стороны	Ограничения/риски	Ресурсоёмкость	Масштабируемость	Примечания для медицины
SGD / Mini-batch	Большие датасеты, DL/табличные	Простота, обобщение	Чувствителен к LR	Низкая–средняя	Высокая	Хорошая база + cosine/LR-warmup
Adam/RMSProp	Разреженные/шумные градиенты	Быстрая ранняя сходимость	Иногда хуже обобщает	Низкая–средняя	Высокая	Часто: AdamW + потом «switch to SGD»
Распределённое обучение	Когорты 10 ⁶ + записей, большие модели	Время обучения ↓	Коммуникации, сложность DevOps	Средняя–высокая	Высокая	DDP/Horovod; следить за детерминизмом
Random/Grid НРО	Небольшой бюджет/простые модели	Простота и параллелизм	Неэффективность	Низкая	Высокая	Хорош как baseline
Байесовская НРО	Дорогие прогоны, мало бюджета	Экономит эксперименты	Настройка/масштабность	Средняя	Средняя	Хороша после «отсева»
Многофидельная НРО	Ограниченный ресурс, много конфигов	Быстрое ранжирование	Выбор «ресурса»	Низкая–средняя	Высокая	Комбо с BO (ASHA → BO)
Эволюционные	Дискретные/смешанные пространства	Гибкость	Много запусков	Средняя–высокая	Средняя	Полезны для NAS/архитектур
Метрики ROC/PR	Классификация, ранжирование	Порог-инвариантность	Не отражают калибровку	Низкая	–	При редких исходах — AUPRC
Калибровка	Риск-скоринг, клиника	Доверие врачу ↑	Переобучение	Низкая	–	Мониторить ECE/Brier по времени
Временная валидация	Данные со временем	Реалистичная оценка	Меньше train-данных	Низкая	–	Must-have при дрейфе практик
FL	Мультицентричность, запреты обмена данными	Совместное обучение без обмена сырыми данными	Коммуникации, атаки	Средняя–высокая	Средняя–высокая	Нужны протоколы безопасности

Таблица 1 (продолжение)

Класс метода	Когда применять	Сильные стороны	Ограничения/риски	Ресурсоёмкость	Масштабируемость	Примечания для медицины
DP-SGD	Строгая приватность	Формальная защита	Потеря метрик	Средняя–высокая	Средняя	Тщательно выбирать ϵ , клиническая приемлемость
Регуляризация (L1/L2/EN)	Табличные/скоры	Простота, интерпретация	Подбор λ	Низкая	Высокая	Elastic Net при коррелированных фичах
Dropout/аугментации	Изображения/сигналы	Обобщение \uparrow	Тюнинг	Низкая–средняя	Высокая	Комбинировать с mixup/cutmix

Заключение

Оптимизация в ML для медицинской Big Data — это не один алгоритм, а согласованная совокупность инженерных и методологических решений, охватывающая весь жизненный цикл модели: от дизайна данных и корректной валидации до безопасного внедрения и пост-производственного мониторинга. Практически измеримый выигрыш дают комбинации распределённых и адаптивных схем обучения (для скорости и устойчивости), Multi-fidelity HPO с байесовской доводкой (для эффективного поиска конфигураций при ограниченном бюджете), а также строгая временная валидация и калибровка вероятностей (для реалистичной оценки и клинической пригодности). В мультицентричных сценариях критично учитывать приватность и регуляторные требования — здесь федеративное обучение и дифференциальная приватность создают технологическую основу для безопасной кооперации клиник без обмена сырыми данными. Не менее важно операционализировать оптимизацию: фиксиро-

вать протоколы экспериментов, обеспечивать воспроизводимость (трекеры, версии данных/кода), контролировать дрейф качества и калибровки в проде, поддерживать цикл периодического переобучения и re-HPO, внедрять процедуры human-in-the-loop и понятную интерпретацию результатов для медицинских специалистов. Экономические и этические аспекты — стоимость вычислений, цена ошибок, прозрачность и справедливость — должны учитываться наравне с метриками точности. Такой «полный стек» оптимизации повышает клиническую надёжность и масштабируемость аналитики: модели переходят от лабораторных пилотов к устойчивым производственным внедрениям, демонстрируя стабильное качество на новых потоках данных, управляемую деградацию при дрейфе и предсказуемую стоимость владения. В результате ML-системы не только улучшают диагностические и прогностические процессы, но и органично встраиваются в клинический рабочий поток, поддерживая принятие решений и принося измеримую пользу пациентам и медицинским организациям.

Литература:

1. Liu X., et al. Recent Advances in Optimization Methods for Machine Learning. Mathematics (MDPI), 2025. MDPI
2. Pati S., et al. Privacy preservation for federated learning in health care. Patterns, 2024. ScienceDirect
3. Pati S., et al. Privacy preservation for federated learning in health care. (PMC version), 2024. PMC
4. Ziller A., et al. Medical imaging deep learning with differential privacy. Sci. Reports, 2021. Nature
5. Mohammadi M., et al. Differential Privacy for Deep Learning in Medicine: A Scoping Review. arXiv, 2025. arXiv
6. Schinkel M., et al. Detecting changes in the performance of a clinical ML model over time. NPJ Digital Medicine, 2023. PMC
7. Silva P. C., et al. Evaluation across healthcare use-cases: AUROC, calibration over time. JMIR, 2024. PMC
8. Ilemobayo T., et al. Hyperparameter Tuning in Machine Learning: A Comprehensive Review. J. Eng. Res. Rep., 2024. journaljerr.com
9. Thatha V. N., et al. Optimized ML mechanism for big data in healthcare. BMC, 2025. PMC
10. A review on multi-fidelity hyperparameter optimization in ML. Engineering Applications of AI, 2025. ScienceDirect
11. Fast hyperparameter tuning using Bayesian optimization. Knowledge-Based Systems, 2020. ScienceDirect
12. Bayesian Optimization for hyperparameters in neural networks. arXiv, 2024. arXiv
13. An Q., et al. A Comprehensive Review on ML in Medical Imaging. Diagnostics, 2023. PMC
14. Saito T., et al. A Closer Look at AUROC and AUPRC under Class Imbalance. arXiv, 2024. arXiv
15. Christopher Meaney, Xuesong Wang, Jun Guan & Therese A. Stukel. Comparison of methods for tuning machine learning model hyper-parameters. PMC, 2025. PMC

Анализ методов и инструментов оптимизации в образовательной среде. Использование оптимизации в облачных системах на примере Google Classroom

Гелюш Никита Дмитриевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Ким Екатерина Романовна, кандидат технических наук, ассоциированный профессор

Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

Актуальность данного анализа позволяет найти современные образовательные процессы оптимизации, которые всё чаще опираются на использование облачных информационных систем, обеспечивающих гибкость, доступность и масштабируемость обучения. Однако вместе с ростом числа студентов и заданий существенно возрастает нагрузка на преподавателей, которым приходится обрабатывать десятки тысяч работ в течение семестра. Это делает задачу оптимизации ключевой: без внедрения современных методов снижается эффективность образовательного процесса, увеличивается риск задержек и ошибок при проверке, теряется прозрачность оценивания. В условиях цифровизации образования оптимизация процессов в облачных системах становится неотъемлемым элементом обеспечения качества обучения, особенно на примере массово используемых платформ, таких как Google Classroom.

Цель анализа:

Целью данной аналитической статьи является исследование методов и инструментов оптимизации в облачных системах и выявление их практической применимости в образовательной среде. Особое внимание уделяется процессу оценивания в Google Classroom, где оптимизационные подходы позволяют существенно сократить трудозатраты преподавателя и повысить эффективность работы всей системы.

Задачи анализа:

1. Рассмотреть теоретические основы методов оптимизации в облачных вычислениях, включая serverless-архитектуру, автоматическое масштабирование, многокритериальные алгоритмы и методы машинного обучения.
2. Проанализировать существующие подходы к оптимизации, выявить их преимущества и ограничения.
3. Изучить примеры практического применения оптимизационных методов в информационных системах, включая образовательные LMS, корпоративные платформы и сервисы потокового вещания.
4. Провести сравнительный анализ основных методов оптимизации по ключевым критериям: эффективность, масштабируемость, сложность реализации и применимость в образовательной среде.
5. Рассмотреть практический кейс применения оптимизационных подходов для организации учебного процесса в Google Classroom.
6. Сформулировать выводы и рекомендации по использованию конкретных инструментов оптимизации для повышения эффективности и качества образовательного процесса.

Теоретические основы методов оптимизации в облачных системах

Оптимизация в облачных вычислениях направлена на рациональное использование ресурсов (вычислительных, сетевых, дисковых) с целью повышения производительности, снижения затрат и обеспечения требуемого уровня качества обслуживания (QoS). Основные подходы включают:

— Serverless-архитектура — выполнение кода по модели «Function-as-a-Service» (FaaS), при которой ресурсы выделяются только на время выполнения задачи. Это минимизирует затраты и позволяет динамически подстраиваться под нагрузку [1], [2].

— Автоматическое масштабирование (autoscaling) — динамическое увеличение или уменьшение числа ресурсов (виртуальных машин, контейнеров или функций) на основе метрик нагрузки (CPU, RAM, задержка отклика) [3], [4].

— Многокритериальная оптимизация — использование математических моделей и алгоритмов (линейное программирование, целочисленные модели, эволюционные алгоритмы) для балансировки нескольких целей: производительности, стоимости, надежности [5].

— Машинное обучение и адаптивные подходы — применение reinforcement learning и онлайн-обучения для прогнозирования нагрузки и выбора оптимальной политики масштабирования [4], [6].

Таким образом, облачная оптимизация представляет собой сочетание алгоритмических методов, архитектурных решений и стратегий управления ресурсами.

Существующие подходы: преимущества и ограничения

На основе анализа научных публикаций можно выделить несколько ключевых направлений [4], [6]:

1. Serverless (FaaS)

- *Преимущества*: высокая эластичность, снижение затрат при переменной нагрузке, простота развертывания.
- *Ограничения*: проблема «холодного старта», ограниченная продолжительность выполнения функций, сложности с долговременными вычислениями.
- 2. Автоматическое масштабирование (autoscaling)
 - *Преимущества*: обеспечивает стабильную работу при пиковых нагрузках, снижает простои и перегрузку.
 - *Ограничения*: задержки в принятии решений, риск перерасхода ресурсов при неправильных порогах, сложность настройки в гибридных средах (cloud + edge).
- 3. Многокритериальная оптимизация распределения ресурсов
 - *Преимущества*: позволяет учитывать не только производительность, но и бюджет, энергопотребление, доступность.
 - *Ограничения*: высокая вычислительная сложность, необходимость адаптации моделей под конкретные сценарии.
- 4. Методы машинного обучения для оптимизации
 - *Преимущества*: возможность предсказывать нагрузку, адаптироваться к новым условиям, улучшать точность принятия решений.
 - *Ограничения*: необходимость сбора больших объемов данных, сложность интерпретации результатов, риск переобучения.

Примеры практического применения в области информационных систем

1. Образовательные LMS (Google Classroom, Moodle, Canvas)
 - Применение автоматического масштабирования позволяет справляться с нагрузкой в период экзаменов или массовой сдачи заданий.
 - Serverless-технологии используются для обработки запросов студентов и преподавателей без простоя системы.
 - Многокритериальная оптимизация помогает сбалансировать затраты учебных заведений на облачные сервисы при сохранении требуемой производительности.
2. Корпоративные информационные системы
 - В e-commerce используются serverless-архитектуры для обработки транзакций при пиковых нагрузках (например, во время распродаж).
 - Автоскейлинг контейнеров (Kubernetes HPA/VPA) применяется для обеспечения бесперебойной работы CRM и ERP систем.
3. Системы потокового вещания и видеоконференций
 - Zoom, Microsoft Teams и Google Meet внедряют гибридные модели масштабирования и edge computing для минимизации задержек.
 - Оптимизация QoS позволяет гарантировать стабильное качество видеосвязи даже при переменных сетевых условиях.

Таким образом, методы оптимизации в облачных системах находят широкое применение как в образовательной среде, так и в бизнесе и коммуникациях. Для Google Classroom ключевым является автоматическое масштабирование и serverless-подход, позволяющие выдерживать переменные нагрузки и снижать затраты при сохранении удобства для студентов и преподавателей [7], [8], [9].

Сравнение методов оптимизации в облачных системах

Таблица 1. Сравнение методов оптимизации

Метод/инструмент	Эффективность	Масштабируемость	Сложность реализации	Применимость в ИС
Serverless (FaaS)	Высокая при переменной нагрузке, но зависит от холодных стартов	Отличная, мгновенное выделение ресурсов	Низкая–средняя (простое развертывание, но сложная оптимизация)	LMS, e-commerce, микросервисы, API
Автоматическое масштабирование (Autoscaling)	Стабильная при пиковых нагрузках, снижает простои	Хорошая, но зависит от настроек порогов	Средняя (требует настройки метрик и политик)	LMS, корпоративные системы, потоковое видео
Многокритериальная оптимизация	Позволяет учитывать несколько целей (стоимость, QoS, надежность)	Средняя, сложность растет с размером задачи	Высокая (необходимы модели и вычислительные ресурсы)	LMS, финансовые системы, критичные к затратам сервисы
Методы машинного обучения (ML/RL)	Адаптивная, предсказывает нагрузку, повышает точность решений	Высокая, обучаемые модели адаптируются к росту данных	Очень высокая (нужны данные, обучение моделей, интерпретация)	LMS, интеллектуальные платформы, прогнозирование нагрузки

В таблице представлены четыре ключевых направления оптимизации облачных систем, которые имеют прямое отношение к образовательным платформам (LMS, включая Google Classroom):

1. Serverless (FaaS)
 - Обеспечивает максимальную гибкость и экономию ресурсов при переменной нагрузке.
 - Подходит для LMS с непредсказуемыми пиками (например, сдача заданий).
 - Основное ограничение — задержки из-за «холодных стартов».
2. Автоматическое масштабирование (Autoscaling)
 - Универсальный механизм для поддержания стабильной работы в условиях роста нагрузки.
 - Широко применяется в LMS, корпоративных и потоковых системах.
 - Требуется грамотной настройки метрик, иначе возможны перерасходы ресурсов.
3. Многокритериальная оптимизация
 - Позволяет сбалансировать сразу несколько параметров: стоимость, производительность, надёжность.
 - Наиболее актуальна для образовательных учреждений с ограниченными бюджетами.
 - Реализация сложнее, так как требует математического моделирования и вычислительных ресурсов.
4. Методы машинного обучения (ML/RL)
 - Способны прогнозировать нагрузку и адаптировать политику распределения ресурсов «на лету».
 - Подход актуален для интеллектуальных LMS, которые используют аналитику и персонализацию.
 - Сложность реализации очень высокая: требуется сбор больших данных и настройка моделей.

Для Google Classroom и схожих систем наиболее практичны autoscaling и serverless — они обеспечивают эластичность, низкие затраты и адаптацию под динамическую нагрузку. Многокритериальная оптимизация полезна при управлении бюджетами и QoS, а машинное обучение — в будущем для интеллектуальной адаптации LMS.

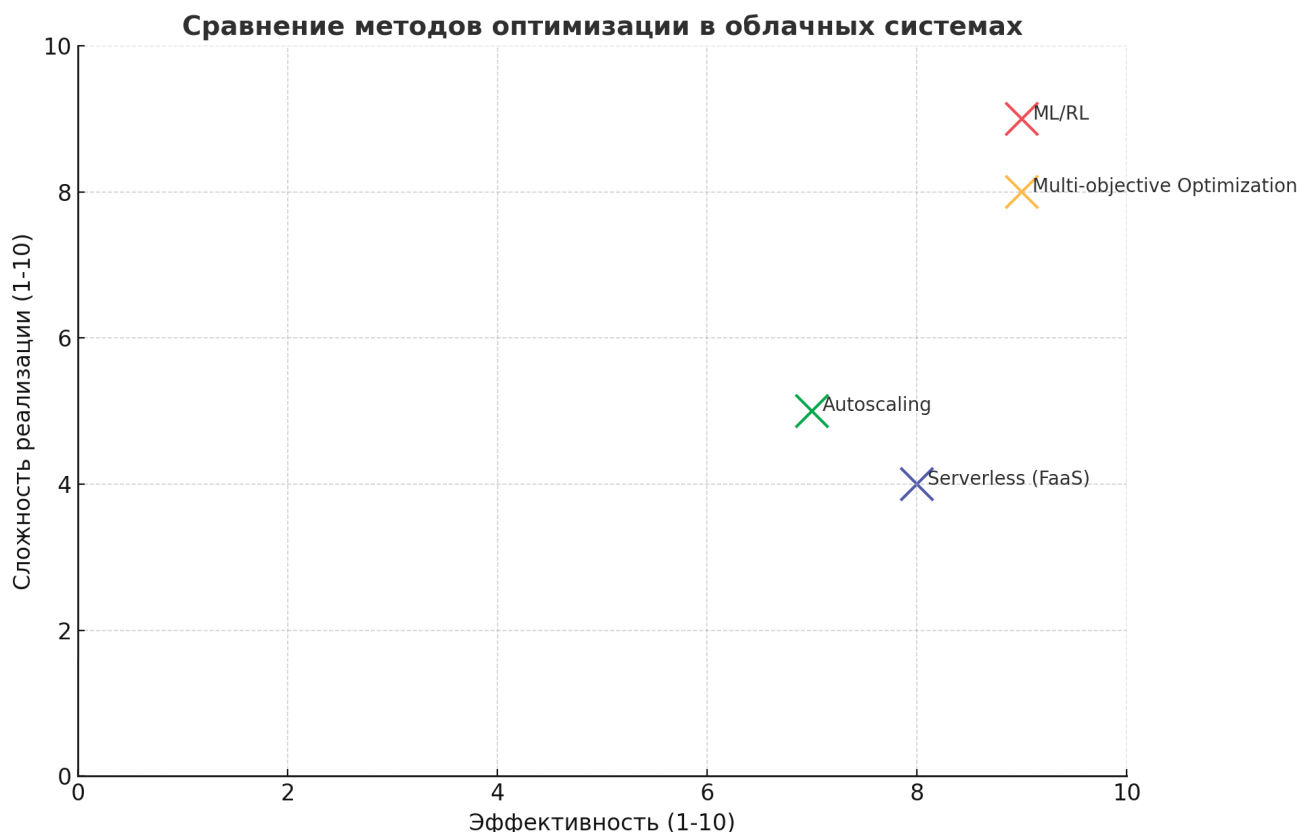


Рис. 1. Сравнение методов оптимизации в облачных системах

На графике видно, что:

— Serverless (FaaS) и Autoscaling находятся в зоне высокой эффективности и относительно низкой сложности → оптимальны для практического применения (в т. ч. в Google Classroom).

— Многокритериальная оптимизация и ML/RL обладают высокой эффективностью, но их реализация требует значительно больших усилий → они более перспективны для исследовательских и долгосрочных проектов

Обобщение результатов анализа и возможные применения процессов оптимизации для Google Classroom

Рассмотрим пример учебного курса, развернутого в Google Classroom, где обучается 634 студента. Они распределены на 21 группу: двадцать групп включают по 30 человек, и только одна группа состоит из 34 студентов. Для каждой группы создан отдельный курс, а каждую неделю проводится три занятия. На каждое занятие студентам предлагается выполнить одно задание. Таким образом, за 12 недель обучения с сентября по декабрь каждый студент получает в среднем по 36 заданий. Простое арифметическое вычисление позволяет определить общий объём работы:

$634 \text{ студента} \times 36 \text{ заданий} = 22\,824 \text{ задания.}$

Данные, с которыми был проведён анализ.

Иными словами, преподавателю приходится иметь дело почти с двадцатью тремя тысячами заданий за один учебный семестр. При этом каждое задание сопровождается критериями оценки, которых может быть от трёх до пяти. Это означает, что объём ручной проверки возрастает в несколько раз: если взять за основу три критерия, количество операций по выставлению баллов достигает около 68 тысяч, а при пяти критериях — свыше 110 тысяч оценочных действий. Такая нагрузка требует не только больших временных затрат, но и высокой концентрации внимания, что неизбежно отражается на качестве и объективности оценивания.

Работа в подобных условиях без применения оптимизационных инструментов связана с рядом серьёзных проблем. Во-первых, возникает чрезмерное количество однотипных и рутинных проверок, что делает процесс утомительным и повышает риск ошибок. Во-вторых, нагрузка распределяется неравномерно: все студенты каждой группы стремятся сдавать задания в одни и те же дни, что приводит к резким пикам активности. В такие моменты преподаватель вынужден обрабатывать тысячи заданий за короткий промежуток времени, что может вызвать задержки с выставлением оценок. В-третьих, при столь большом массиве данных теряется прозрачность и управляемость процесса: становится сложно отслеживать прогресс каждой группы и оперативно реагировать на отстающих студентов. В результате страдает обратная связь, а учебный процесс становится менее эффективным.

Основные проблемы без оптимизации [9]:

- Большое количество однотипных проверок.
- Сильные пики нагрузки (все группы сдают задания в одни и те же дни).
- Риск задержек с выставлением оценок.
- Потеря прозрачности при большом массиве данных.

Для решения обозначенных проблем можно применить различные методы оптимизации облачных систем. Один из подходов заключается в использовании serverless-технологий (например, Google Apps Script или Cloud Functions), которые позволяют автоматизировать часть операций: автоматически распределять задания по категориям, заполнять шаблоны критериев оценки, отправлять уведомления студентам. Это освобождает преподавателя от рутинной работы и сокращает время на проверку. Другой вариант связан с автоматическим масштабированием облачных сервисов. В дни массовой сдачи система способна динамически выделять дополнительные ресурсы для хранения и обработки данных, предотвращая перегрузки и сбои.

Перспективным направлением является многокритериальная оптимизация, которая позволяет одновременно учитывать несколько целей: равномерное распределение проверок по времени, снижение нагрузки на преподавателя и сохранение объективности оценивания. С помощью математических моделей можно формировать оптимальные графики проверки и выделять приоритетные задания. В более долгосрочной перспективе возможно применение методов машинного обучения. Анализируя накопленные данные о проверках, алгоритмы смогут автоматически выставять предварительные оценки по заданным критериям, выделять нестандартные работы для ручной проверки и прогнозировать объём времени, необходимого на выставление итоговых баллов.

Таким образом, использование методов и инструментов оптимизации позволяет превратить трудоёмкий процесс проверки почти двадцати трёх тысяч заданий в управляемую и прозрачную систему. Преподаватель получает возможность сосредоточиться на содержательной стороне работы и индивидуальной обратной связи со студентами, в то время как большая часть рутинных операций берётся на себя облачными сервисами. Это повышает эффективность образовательного процесса, снижает риск ошибок и создаёт основу для дальнейшего внедрения интеллектуальных технологий в учебную практику.

Обобщая проведённый анализ, можно отметить, что оптимизация процесса оценивания в образовательных облачных системах является необходимым условием для повышения качества и устойчивости учебного процесса. Масштаб проверок, достигающий десятков тысяч заданий за семестр, делает ручную работу преподавателя чрезмерно трудоёмкой и неэффективной. Внедрение методов оптимизации, таких как автоматизация рутинных операций с помощью serverless-скриптов, использование механизмов автоматического масштабирования для балансировки нагрузки, применение многокритериальных моделей распределения проверок и перспективные алгоритмы машинного обучения, позволяет значительно сократить время на проверку, повысить объективность оценивания и улучшить прозрачность учебного процесса. Таким образом, оптимизация не только снижает нагрузку на преподавателя, но и обеспечивает более высокое качество образовательной среды, открывая возможности для дальнейшей цифровой трансформации системы обучения.

Для практического применения в образовательных информационных системах можно выделить следующие рекомендации:

1. Автоматизировать рутинные операции с помощью Google Apps Script и облачных функций для расчёта баллов по критериям и экспорта данных в сводные таблицы. (Приложение А)
2. Внедрить механизмы масштабирования в периоды массовой сдачи заданий, чтобы система оставалась стабильной даже при резком росте нагрузки.
3. Использовать многокритериальные модели для равномерного распределения проверок по времени и рационального использования ресурсов.
4. Развивать интеллектуальные методы на основе машинного обучения, которые могут предварительно оценивать работы, прогнозировать нагрузку и выявлять атипичные случаи.

Реализация данных подходов позволит сделать процесс оценивания в Google Classroom более прозрачным, управляемым и эффективным, что повысит качество образовательного процесса в целом.

Приложение А

Потенциальное решение для работы с массивом студентов, который будет работать через Google Collab:

```
function rebuildPivots() {
  const ss = SpreadsheetApp.getActive();
  const sub = ss.getSheetByName('Submissions');
  const data = sub.getDataRange().getValues();
  const headers = data.shift();
  const idx = {};
  headers.forEach((h,i)=> idx[h]=i);

  // — Pivot: Week × Group —
  const keyWG = m => `${m.group}__${m.week}`;
  const bucketWG = {};

  data.forEach(r=>{
    const m = {
      group: r[idx['group']],
      week: Number(r[idx['week']]) || 0,
      total: Number(r[idx['Total']]) || 0
    };
    const key = keyWG(m);
    if (!bucketWG[key]) bucketWG[key] = {group:m.group, week:m.week, count:0, sum:0};
    bucketWG[key].count += 1;
    bucketWG[key].sum += m.total;
  });

  const outWG = Object.values(bucketWG)
    .map(o => [o.group, o.week, o.count, o.sum / o.count || 0, o.sum])
    .sort((a,b)=> a[0].localeCompare(b[0]) || a[1]-b[1]);

  const shWG = ss.getSheetByName('Pivot_Week_Group');
  shWG.clear();
  shWG.getRange(1,1,1,5)
    .setValues([[ 'group', 'week', 'count_tasks', 'avg_total', 'sum_total' ]]);
  if (outWG.length) shWG.getRange(2,1,outWG.length,5).setValues(outWG);

  // — Pivot: per Student —
  const keyS = m => `${m.group}__${m.student_id}`;
  const bucketS = {};
  data.forEach(r=>{
```

```

const m = {
  group: r[idx['group']],
  student_id: r[idx['student_id']],
  student_name: r[idx['student_name']],
  total: Number(r[idx['Total']]) || 0,
  status: r[idx['status']]
};
const key = keyS(m);
if (!bucketS[key]) bucketS[key] = {group:m.group, student_id:m.student_id,
student_name:m.student_name, cnt:0, sum:0, onTime:0};
bucketS[key].cnt += 1;
bucketS[key].sum += m.total;
if (String(m.status).toLowerCase() === 'on_time') bucketS[key].onTime += 1;
});

const outS = Object.values(bucketS)
  .map(o => [o.group, o.student_id, o.student_name, o.sum, o.sum/o.cnt || 0,
o.onTime/o.cnt || 0])
  .sort((a,b)=> a[0].localeCompare(b[0]) || a[1]-b[1]);

const shS = ss.getSheetByName('Pivot_Student');
shS.clear();
shS.getRange(1,1,1,6)
  .setValues([[ 'group', 'student_id', 'student_name', 'total_points', 'avg_
points', 'on_time_ratio' ]]);
if (outS.length) shS.getRange(2,1,outS.length,6).setValues(outS);

SpreadsheetApp.getUi().alert('Сводные пересчитаны.');
```

```

}
```

```

// Экспорт по группам в CSV на Google Drive (полезно для архива/отчётов)
function exportGroupsToCsv() {
  const ss = SpreadsheetApp.getActive();
  const sh = ss.getSheetByName('Submissions');
  const data = sh.getDataRange().getDisplayValues();
  const headers = data.shift();
  const idxGroup = headers.indexOf('group');
```

```

  // Разложить строки по группам
  const byGroup = {};
  data.forEach(r=>{
    const g = r[idxGroup] || 'NO_GROUP';
    if (!byGroup[g]) byGroup[g] = [headers];
    byGroup[g].push(r);
  });

  // Создать/обновить CSV-файлы в корне Диска
  Object.keys(byGroup).forEach(g=>{
    const content = byGroup[g].map(row => row.map(x => `"`+String(x).
replace(/"/g, '""')+"`").join(',')').join('\n');
    const blob = Utilities.newBlob(content, 'text/csv', `classroom_${g}.csv`);
    DriveApp.createFile(blob);
  });

  SpreadsheetApp.getUi().alert('CSV по группам выгружены в My Drive.');
```

```

}
```


Литература:

1. <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/7673/6691> Benchmarking Serverless Efficiency for E-Learning Platforms: A Comparative Study of AWS Lambda and EC2 Models [Электронный ресурс]. (дата обращения: 22.09.2025).
2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804524000596> Daraghme M., et al. Optimizing serverless computing: A comparative analysis. Journal of Network and Computer Applications. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 22.09.2025).
3. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X24002929> Benedetti P., et al. Management of Autoscaling Serverless Functions in Edge/Cloud. Future Generation Computer Systems. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 23.09.2025).
4. <https://arxiv.org/abs/2501.00468> Kambale A. W., et al. Autoscaling in Serverless Platforms via Online Learning with Convergence Guarantees. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 23.09.2025).
5. <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-021-00254-w> Chen J., et al. A multi-objective optimization for resource allocation of cloud computing for emergent demands. Journal of Cloud Computing, 2021. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 24.09.2025).
6. <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2021/EECS-2021-41.pdf> UC Berkeley EECS Technical Report: Towards Ubiquitous Serverless Computing: Fast Large-Scale Function Deployment, 2021. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 24.09.2025).
7. <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/1/10> Govea J., et al. Optimization and Scalability of Educational Platforms. Computers, 2023. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 24.09.2025).
8. <https://www.mdpi.com/2075-4698/14/1/7> El Koshiry A., et al. Effectiveness of a Cloud LMS for Blind Graduate Students. Societies, 2024. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 25.09.2025).
9. <https://www.rsisinternational.org/virtual-library/papers/comparative-study-between-moodle-canvas-and-google-classroom/> Comparative Study Between Moodle, Canvas and Google Classroom. RSIS International, 2025. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 25.09.2025).
10. <https://arxiv.org/abs/2406.02118> Auto-scaling Approaches for Cloud-native Applications: A Survey, 2025. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 25.09.2025).

Проектирование образовательного веб-ресурса: интеграция механизмов пользовательской кастомизации

Мухамбетсаги Дастан Шынгысулы, студент магистратуры
Научный руководитель: Абдиев Кали Сеильбекович, доктор педагогических наук,
кандидат физико-математических наук, доцент, профессор
Университет «Туран» (г. Алматы, Казахстан)

В работе представлена концептуальная модель разработки образовательной платформы с открытым исходным кодом (Open Source), объединяющая механизмы геймификации интерфейса для стимулирования академической активности обучающихся и стратегии технической оптимизации серверной архитектуры, основанные на анализе поведенческих паттернов и сегментации пользовательской аудитории.

Ключевые слова: образовательная платформа, геймификация обучения, внешняя мотивация, Open Source, цифровизация образования, управление контентом, академическая успеваемость.

Введение

В условиях глобальной цифровизации высшего образования наблюдается необходимость качественной трансформации электронных обучающих систем. Современные образовательные платформы перестают быть исключительно хранилищами учебных материалов; они трансформируются в интерактивные среды, требующие высокого уровня вовлеченности пользователей и персонализации пользовательского опыта (UX). В связи с этим рассмотрим

внедрение элементов геймификации и кастомизации интерфейса, которые позволяют конвертировать академические успехи в визуальное улучшение цифрового рабочего пространства, создавая систему внешней положительной мотивации и прочее.

Концепция геймификации и анализ аналогов

В рамках разработки веб-ресурса целесообразно рассмотреть возможность внедрения элементов геймифи-

кации. Предлагаемая механика предполагает начисление условных единиц («бонусов»), которые могут быть конвертированы в улучшения визуальной составляющей пользовательского интерфейса (UI).

В качестве релевантного аналога можно привести модель кастомизации платформы Discord. В данной системе реализована возможность приобретения косметических элементов профиля и расширения функционала за счет внутренней валюты (Orbs), получаемой пользователем за выполнение целевых действий (просмотр рекламных интеграций, игровая активность) ^[1]. Данный опыт демонстрирует эффективность обмена накопленных ресурсов на визуальную персонализацию (темы, эффекты), что может быть адаптировано для образовательной среды.

Механика конвертации академических успехов

В контексте проектируемого образовательного ресурса коммерческая составляющая (реклама) исключается. Источником начисления бонусных баллов выступает академическая успеваемость обучающихся. Предлагается прямая корреляция между оценкой и вознаграждением: процент выполнения задания конвертируется в эквивалентное количество баллов (например, оценка 75 % эквивалентна 75 баллам). Накопленные средства используются для приобретения тем оформления интерфейса. Данный подход формирует прозрачную систему внешней мотивации: стремление к кастомизации рабочего пространства стимулирует получение более высоких оценок для ускорения процесса накопления ^[2]. При этом система остается инклюзивной: студенты с более низкой успеваемостью также имеют доступ к контенту, однако скорость достижения цели у них будет ниже, чем у высокоэффективных обучающихся.

Расчет экономической модели системы

Ценообразование внутри платформы должно базироваться на принципе дефицита и ценности. За основу расчета взята модель трудозатрат, аналогичная набору «Бесконечный вихрь» в Discord (стоимость 8900 у.е., награда за действие ~700 у.е., требуется ~13 действий).

Для образовательной платформы предлагается установить «обменный курс», исходя из высокой планки успеваемости — 90 баллов. Данный порог выбран как критерий отличной учебы, предотвращающий быструю инфляцию валюты и насыщение интереса.

Формула расчета стоимости темы: $P = N * G_{\text{цель}}$

Где P — стоимость темы, N — количество заданий (взято значение 13), $G_{\text{цель}}$ — целевой балл (90).

$P = 13 \text{ заданий} \times 90 \text{ целевой балл} = 1170 \text{ условных единиц.}$

Таким образом, базовая стоимость темы устанавливается на уровне 1170 бонусов. Это создает ситуацию, при которой обучающиеся осознают нижний порог эффективности, что может служить дополнительным стимулом к повышению качества выполнения заданий. Параметры начисления и стоимости могут регулироваться админи-

страцией, однако данные значения рекомендуются в качестве настроек по умолчанию.

Риски, масштабирование и пользовательский контент

Существует риск снижения мотивации после приобретения желаемого контента ^[3]. Для минимизации данного риска предлагается внедрение многоуровневой системы доступа. После приобретения базовых тем пользователю открывается функционал конструктора для создания собственных визуальных решений (кастомные эффекты, цветовые схемы, иконки).

Стоимость доступа к данному функционалу должна существенно превышать базовую. Кроме того, целесообразно внедрить механизм публикации пользовательских тем (User-Generated Content). При условии прохождения модерации на соответствие этическим нормам, тема добавляется в общий магазин, а автор получает роялти (например, 10 % от стоимости покупок другими пользователями). Это трансформирует роль обучающегося из потребителя в создателя контента.

Психолого-эргономическое обоснование

Возможность кастомизации интерфейса способствует персонализации пользовательского опыта (UX), что особенно актуально для представителей цифрового поколения ^[4]. Наблюдается тенденция к индивидуализации рабочего пространства (как физического, так и цифрового) с целью повышения психологического комфорта.

Несмотря на то, что прямая корреляция между цветом интерфейса и эффективностью когнитивных процессов обучения требует дополнительного изучения, персонализация снижает монотонность взаимодействия с системой. Возможность видеть личный вклад в визуальный облик приложения может положительно сказаться на лояльности к платформе и снижении утомляемости от рутинных действий.

Оптимизация

Заключительный раздел статьи посвящен вопросам технической оптимизации системы, ключевым элементом которой является политика управления контентом, загружаемым обучающимися и преподавательским составом. В целях предотвращения переполнения дискового пространства сервера и оптимизации нагрузки на канал передачи данных, предлагается внедрение жесткой фильтрации загружаемых материалов. Система должна поддерживать загрузку исключительно текстовых документов и графических изображений (форматы.doc,.pdf,.jpg,.png и др.).

Для факультетов и дисциплин, требующих сдачи видеоматериалов, прямая загрузка файлов на сервер исключается. В качестве альтернативы утверждается протокол использования внешних ресурсов: студентам предоставляется возможность прикрепления активных гиперссылок

на сторонние видеохостинги и облачные хранилища (YouTube, Google Drive, Vimeo). Данный подход позволяет делегировать нагрузку по хранению и потоковой передаче «тяжелого» контента профильным сервисам, сохраняя ресурсы образовательной платформы для основных задач.

Для оптимизации эксплуатационных расходов и снижения амортизации оборудования рассматривается внедрение режима временного отключения серверных мощностей. Предлагаемый интервал недоступности сервиса: с 01:00 до 05:00. Данная мера обоснована экономически: в указанный временной слот наблюдается минимальная пользовательская активность, что делает содержание активных серверов нерентабельным. С точки зрения организации учебного процесса, данное ограничение может незначительно повлиять на распорядок дня обучающихся, выступая в роли дисциплинирующего фактора. Студентам необходимо планировать нагрузку работ до наступления технического перерыва.

Вероятность возникновения критических ситуаций, связанных с невозможностью сдачи работ в ночное время, оценивается как низкая, поскольку основной объем академической активности приходится на дневное и вечернее время. Тем не менее, архитектура системы должна предусматривать гибкость настройки данного параметра.

Литература:

1. Clyde Reward Your Play: Complete Quests. Earn Orbs. Get Sweet Stuff. / Clyde. — Текст: электронный // Discord: [сайт]. — URL: <https://discord.com/blog/discord-orbs>
2. Что такое внешняя мотивация и в чем она проявляется? — Текст: электронный // Life Help: [сайт]. — URL: <https://life-help.ru/lifehelp-services/post/24>
3. Петушков, М. В. Где теряется мотивация? / М. В. Петушков. — Текст: электронный // b17: [сайт]. — URL: <https://www.b17.ru/article/554125/>
4. Соловьёва, Ж. UI и UX дизайн: отличия, принципы, перспективы / Ж. Соловьёва. — Текст: электронный // Яндекс Практикум: [сайт]. — URL: <https://practicum.yandex.kz/blog/chto-takoe-ux-ui-dizayn/>

Методы анализа и моделирования данных. Инжиниринг больших данных

Пронина Александра Игоревна, студент магистратуры
Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону)

Данная статья посвящена методам анализа и моделирования данных, инжинирингу больших данных. На данный момент это одна из самых актуальных тем, так как BIG DATA и связанные с ними технологии используют во многих отраслях человеческой деятельности, таких как: бизнес (маркетинг, оптимизация цепочки поставок, рисковое управление, инновации и разработка продуктов), здравоохранение (постановка диагнозов, прогнозирование течения заболеваний, назначение лечения). Финансы (банки, страховые компании, инвестиционные фонды), наука (геномика, астрономия, климатология, нейронауки и когнитивные исследования). Инжиниринг также используется в вышеуказанных отраслях. В статье описываются термины, связанные с инжинирингом, примеры применения инжиниринга и связанные с этим исследования.

Ключевые слова: инжиниринг, реверс-инжиниринг.

В инжиниринге технических систем ключевыми понятиями выступают технические системы, изделия и целевые объекты. Технические системы описываются своим предназначением, набором требований, устойчивыми

Администраторам платформы предоставляется полный доступ к управлению расписанием работы серверов. Функционал должен включать возможность смещения временных рамок «тихого часа» или его полную деактивацию (режим 24/7) в периоды повышенной нагрузки, например, во время сессии, когда потребность в круглосуточном доступе возрастает.

Заключение

Представленные материалы формируют теоретический базис для проектирования унифицированной платформы с открытым исходным кодом (Open Source). Целевое назначение системы — централизация и автоматизация ключевых административно-учебных процессов образовательных центров. Архитектура приложения предполагает интеграцию модулей управления расписанием, учета аудиторного фонда, координации преподавательского состава и организации каналов обратной связи. Анализ опыта эксплуатации упрощенных программных решений (MVP), реализующих базовый импорт данных из университетских порталов, подтверждает высокую востребованность и эргономическую ценность подобного инструментария.

функциями преобразования вещества, энергии и информации во времени, а также компонентным составом, обеспечивающим выполнение этих функций. Объектно-ориентированный инжиниринг аккумулирует и применяет

накопленные знания и методы создания целевых технических систем в различных предметных областях. Использование моделирования в инженеринговых процессах позволяет заменить взаимодействие с реальными объектами их виртуальными аналогами, что способствует ускорению выполнения задач, повышая при этом результативность и эффективность. Процессы моделирования в инженерных системах делятся на два основных этапа: анализ и синтез. Одним из актуальных подходов в современном модельно-ориентированном системном инженеринге является модельно-ориентированный подход. Он помогает сосредоточить и конкретизировать инженерную деятельность, тем самым делая её более управляемой и эффективной.

В сфере почвообрабатывающей техники активно применяется реверс-инжиниринг компонентов, что обусловлено необходимостью улучшения качества и увеличения количества производимой техники. Эта технология становится всё значимее на фоне ужесточения требований и интенсивного технологического развития. Одним из основных инструментов реверс-инжиниринга является 3D-сканирование, которое включает три этапа: сканирование объекта, обработку данных точек и создание геометрической модели для конкретного применения. Рост мощностей вычислительной техники и систем автоматизированного проектирования позволяет точно воспроизводить трёхмерную геометрию рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Инжиниринг в области БАС (беспилотных авиационных систем) базируется на интеграции современных методов математического моделирования. С помощью моделирования можно не только максимально точно спрогнозировать поведение и взаимодействие элементов системы, но и выявить потенциальные отклонения ещё на этапах проектирования и производства, что снижает вероятность дефектов и поломок. Ключевым аспектом инжиниринга в данной сфере остаётся контроль качества, так как он обеспечивает соответствие материалов и компонентов строгим требованиям по точности, однородности и отсутствию дефектов. Это позволяет не только улучшать финальный продукт, но и оптимизировать расходы за счёт сокращения количества доработок.

Современные разработки всё чаще нацелены на создание унифицированных моделей и систем перед проектированием сложных изделий, высокотехнологических систем, предприятий, информационных платформ. В таких случаях используется модельно-ориентированный подход, одним из инструментов которого является методология MBSE (Model-Based Systems Engineering). Она фокусируется на создании и применении моделей различной степени детализации на каждом этапе проектирования. При этом учёту подлежат требования к системе, её функции, компоненты (подсистемы), а также работы по созданию системы. Архитектурное моделирование формирует системное представление о целевом объекте через анализ его компонентов и среды обитания. Предметом архитектурного моделирования является система S и её внешняя среда. Процесс включает сбор и обработку ис-

ходных данных, а также уточнение терминов. Среди архитектурных моделей можно выделить две: SBS — это структура, организованная по принципу иерархии компонентов системы; DSM (Design Structure Matrix) — матрица связей или таблица взаимодействий компонентов системы.

Цифровой инжиниринг, будучи одной из самых перспективных технологических концепций, открывает возможности для создания интеллектуальных экосистем. Они направлены на повышение производительности, качества услуг и продукции, а также на оптимизацию всех этапов бизнес-процессов. Инжиниринг данных охватывает консультационные задачи на всех стадиях реализации производственных процессов: от проектирования до сопровождения изделий. Здесь активно применяются информационные технологии и искусственный интеллект. С цифровым инжинирингом тесно связаны такие концепты, как сквозные технологии, включающие использование автономных роботов, работу с большими данными и искусственный интеллект — совокупность методов для решения разнообразных задач. К числу этих технологий относится также Интернет вещей — сеть устройств с интегрированными датчиками и специализированным ПО для сбора и анализа данных. Такие платформы предоставляют возможность удалённого мониторинга и управления производственными процессами в автоматизированном режиме. Цифровой инжиниринг охватывает не только разработку, поставку, настройку и адаптацию программного обеспечения, но и выполнение различных инженерных задач, необходимых для реконструкции или модернизации действующих производственных процессов.

С учетом председательства России в союзе БРИКС и появления стратегии под названием «укрепление многосторонности для справедливого глобального развития и безопасности», компании стран-участниц БРИКС, поддерживающие данную стратегию, сталкиваются с необходимостью пересмотра своих международных, национальных и корпоративных направлений. Важнейшей задачей становится выбор приоритетов, способствующих соблюдению общих интересов. Это подразумевает проведение целого комплекса сложных мероприятий, включая согласование различий в законодательной базе, технических стандартах и ресурсах стран БРИКС, особенно в условиях мировой экономической нестабильности. Такой подход можно представить как развитие концепции модельно-ориентированного системного инжиниринга 2.0. Однако одним из серьезных вызовов реализации подобного инжиниринга остается недостаточная проработка методов стратегического моделирования для оптимизации управления и технологий производства. Это снижает эффективность принятия стратегических решений. Методология модельно-ориентированного системного инжиниринга 2.0 базируется на традиционных научных подходах, таких как использование глубинных интервью, методах индукции, дедукции, синтеза и др. Особую роль играет анализ социально-экономических процессов, где объект исследования рассматривается

через совокупность научных подходов с выделением ключевых характеристик.

При уходе с российского рынка ряда зарубежных компаний и поставщиков электронной компонентной базы обострилась необходимость в решении задач импортозамещения. Выпускаемая продукция должна соответствовать требованиям отечественных разработчиков электронной техники. Для этого нужно изучить конструктивные и схемотехнические варианты готовых решений и адаптировать их к производственным возможностям местных предприятий.

В этом ключе одним из важных инструментов становится реверс-инжиниринг электронных компонентов. В рамках реверс-инжиниринга важным этапом выступают исследование и анализ микро- и наноразмерных структур полупроводниковых приборов. Среди ключевых задач можно выделить следующие: во-первых, изучение сечений (или кросс-секций) интегральной микросхемы с транзисторными структурами, что подразумевает формирование сечения в вертикальной плоскости; во-вторых, анализ поверхности кристалла с целью оценки качества металлизации.

Литература:

1. Гаричев, С. Н. Модельно-ориентированный инжиниринг физико-технических, информационных и интеллектуальных систем / С. Н. Гаричев, Р. А. Горбачев, Е. В. Давыденко [и др.]. — Текст: непосредственный // Труды московского физико-технического института. — 2022. — № 2. — С. 149–161;
2. Кожарина, Т. В. Реверс-инжиниринг деталей почвообрабатывающих машин для проведения конечно-элементного анализа / Т. В. Кожарина, С. В. Карпов, А. Р. Гороновский. — Текст: непосредственный // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. — 2024. — № 1. — С. 150–156;
3. Рассыхаева, М. Д. Инжиниринг качества БАС на основе математического моделирования отдельных элементов выполненных на основе аддитивных технологий / М. Д. Рассыхаева, А. Климочкина, Л. Л. Д. Ф. Казадио, А. В. Чабаненко. — Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 12. — С. 483–489;
4. Комаров, Н. В. Моделирование системы мониторинга и анализа информации электронных СМИ методами модельно-ориентированного системного инжиниринга / Н. В. Комаров, С. М. Рощин. — Текст: непосредственный // вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2021. — № 1. — С. 12–22;
5. Городнова, Н. В. Цифровая трансформация: возможности применения сквозных технологий в проектах цифрового инжиниринга / Н. В. Городнова. — Текст: непосредственный // Вопросы инновационной экономики. — 2023. — № 1. — С. 173–192;
6. Тищенко, Е. Б. Стратегирование координации организаций строительного комплекса стран БРИКС в условиях экономики данных / Е. Б. Тищенко, М. В. Славянцев. — Текст: непосредственный // Стратегирование: теория и практика. — 2024. — № 1. — С. 110–132;
7. Малаханов, А. А. Применение сканирующей электронной микроскопии в реверс-инжиниринге электронной компонентной базы / А. А. Малаханов, А. А. Пугачев, В. К. Маркова. — Текст: непосредственный // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. — 2024. — № 3. — С. 4–12.

Особенности организации конвейера данных с использованием брокера сообщений Apache Kafka в системах обработки данных

Селезнёв Александр Игоревич, ассистент;

Селезнёв Игорь Львович, кандидат технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Беларусь)

В статье рассматриваются особенности организации конвейера данных с использованием Apache Kafka в системах обработки данных. Обсуждаются основные структурные уровни конвейера данных, особенности построения, а также анализируется интеграция с Apache Kafka.

Ключевые слова: система обработки данных, конвейер данных, брокер сообщений Apache Kafka.

В настоящее время многообразие различных типов данных, используемых современными системами обработки данных (СОД), взрывообразно увеличилось. Этому явлению способствует все большее внедрение интеллекту-

альных устройств в промышленном и потребительском секторе с Интернетом вещей (Internet of things, IoT) в качестве связующего звена [1]. Следовательно, многократно возрастает поток информации, генерируемый большим числом

устройств, с разными форматами выходных данных, для чего интенсивно применяются конвейеры данных.

Конвейер данных — набор процессов и методов, используемых для перемещения данных из разных ис-

ходных систем в централизованное хранилище (обычно информационное), для анализа, обработки и дальнейшего применения [2]. Пример структуры типичного конвейера данных приведен на рисунке 1.

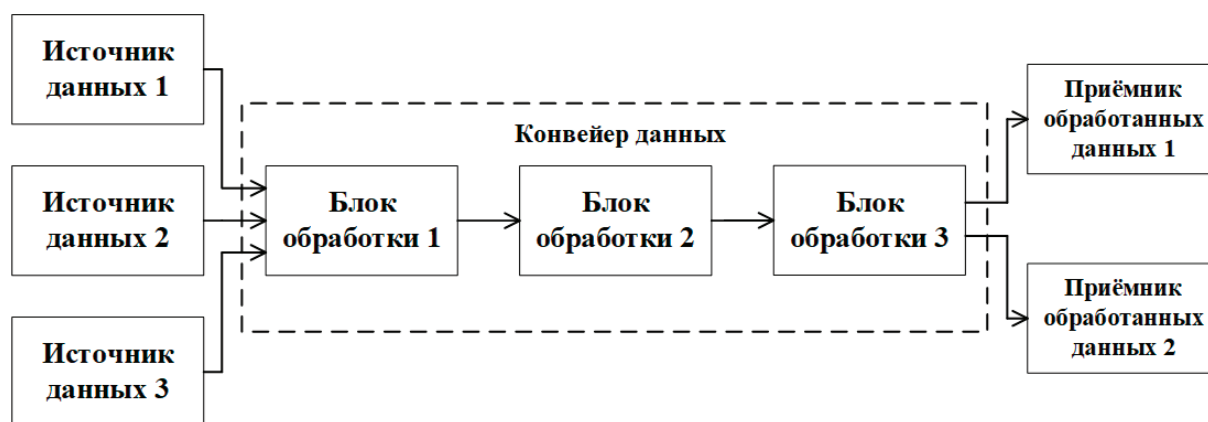


Рис. 1. Пример структуры типичного конвейера данных

Из рисунка 1 видно, что в конвейер поступают данные из трех источников, которые затем последовательно обрабатываются в блоках обработки конвейера. Данные из «Блок обработки 3» отправляются в два приёмника обработанных данных для их дальнейшего использования согласно настроенной внутренней ло-

гики конвейера данных. Блоки обработки данных могут быть реализованы как отдельными функциями обработки, так и полноценными системами обработки данных [3].

Структурно конвейеры данных состоят из пяти элементов, представленных на рисунке 2.

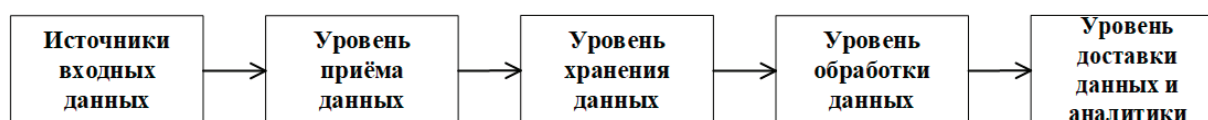


Рис. 2. Структурные уровни конвейера данных

На рисунке 2 приведены следующие структурные уровни конвейера данных:

1. Источники входных данных. Данные генерируются из различных источников, таких как, например, взаимодействие клиентов на веб-сайте, транзакции в розничном магазине, устройства IoT или любых других источников генерации данных.

2. Уровень приёма данных. На этом уровне устанавливается соединение с источниками входных данных через соответствующие протоколы и соединители. После подключения необходимые данные извлекаются из каждого источника. Метод извлечения зависит от формата источника данных — структурированные данные можно получить с помощью запросов, а для неструктурированных данных чаще всего требуются специальные инструменты извлечения.

3. Уровень хранения данных. Принятые данные находятся в необработанной форме и должны быть сохранены перед дальнейшей их обработкой.

4. Уровень обработки данных включает процессы и инструменты для преобразования необработанных данных.

5. Уровень доставки данных и аналитики. Преобразованные данные загружаются в хранилище данных или другой репозиторий и становятся доступными для формирования отчетов и анализа.

Для организации производственного конвейера данных в СОД необходимо обеспечить надежность и безотказность уровня приёма данных посредством оптимального построения интерфейса взаимодействия между элементами конвейера. Решением этой задачи является как написание собственного интерфейса взаимодействия, так и использование существующих специализированных средств — брокеров сообщений [4]. Одним из оптимальных вариантов брокера сообщений, поддерживающим работу с конвейерами данных, является брокер сообщений Apache Kafka (далее Kafka).

Существует несколько сценариев использования Kafka: в конвейере данных этот брокер сообщений может представлять одну из конечных точек конвейера (например, перемещение данных из базы данных MongoDB в Kafka); также возможно создание конвейера данных между двумя

различными системами используя Kafka в качестве промежуточного звена (например, перемещение данных из социальной сети X в Elasticsearch путем отправки их сначала в Kafka, а затем из Kafka в Elasticsearch [5]).

Главным достоинством использования Kafka в конвейерах данных является то, что этот брокер сообщений может служить большим и надежным буфером между различными этапами конвейера. Тем самым Kafka разделяет производителей данных от потребителей внутри конвейера и позволяет использовать одни и те же данные из источника в нескольких целевых приложениях и системах, которые имеют различные требования к своевременности и доступности; обеспечивает высокую надежность и производительность — вследствие чего Kafka хорошо подходит для большинства конвейеров данных [6].

Основные особенности в организации производственных конвейеров данных с использованием Kafka в СОД:

1. Своевременность (Timeliness). Например, в одних системах ожидается, что данные будут поступать большими порциями раз в день, в других — через несколько миллисекунд после генерации. Хорошие системы интеграции данных должны соответствовать требованиям к своевременности для разных конвейеров, а также иметь возможность перехода от одного режима работы к другому при необходимости.

Kafka может использоваться для поддержки как конвейеров, работающих в режиме реального времени, так и для обработки пакетов, поступающих с меньшей интенсивностью. Производители могут записывать данные в Kafka с требуемой им частотой, а потребители могут читать и доставлять самые свежие события по мере их поступления.

2. Надежность. При создании конвейеров важно обеспечить быстрое автоматическое восстановление после сбоев и иметь как можно меньше критических точек отказа. Данные часто поступают по конвейерам в важные для компаний элементы работающей системы, и сбой длительностью более нескольких секунд может иметь катастрофические последствия, особенно если в требованиях к функционированию указаны величины порядка нескольких миллисекунд. Еще один важный фактор надежности — гарантия доставки данных. Хотя в некоторых системах потери данных допустимы, чаще всего требуется как минимум однократная их доставка. Это означает, что все данные, отправленные из системы-источника, должны достичь пункта назначения, что в отдельных случаях может привести к появлению дубликатов из-за повторной отправки. Часто выдвигается требование строго однократной доставки — все данные, отправленные из системы-источника, должны достичь пункта назначения без каких-либо потерь или дублирования.

Kafka способен обеспечить как минимум однократную доставку, а в сочетании с внешним хранилищем с поддержкой транзакционной модели или уникальных ключей также и строго однократную [7]. Поскольку многие из конечных точек брокера сообщений Kafka представляют

собой хранилища данных, обеспечивающие возможность строго однократной доставки, конвейер на основе Kafka можно сделать строго однократным.

3. Работа при высокой нагрузке. Конвейеры данных должны иметь возможность масштабироваться до высокой производительности, необходимой в современных информационных системах и нормально функционировать при внезапных повышениях нагрузки.

Так как Kafka является буфером между производителями и потребителями, то не требуется учитывать производительность обработки информации сторонами. При использовании Kafka не требуется сложный механизм контроля обратного потока данных, поскольку, если производительность производителя превышает производительность потребителя, данные будут накапливаться в Kafka до тех пор, пока потребитель не «догонит» производителя. Возможность Kafka масштабироваться за счет независимого добавления производителей и потребителей делает возможным динамически и независимо масштабировать любую из сторон конвейера, чтобы обеспечить работу при изменении нагрузки.

4. Форматы данных. Одна из важнейших задач конвейеров данных — это согласование их форматов и типов. Различные базы данных и другие системы хранения поддерживают многообразные форматы данных, поэтому внутри системы с конвейером данных возникает необходимость их взаимного согласования.

При использовании Kafka производители и потребители могут применить любой сериализатор (serializer) для представления данных в различных форматах [8]. Также возможно использование фреймворка Kafka Connect [9], включающего типы и схемы данных для автоматического преобразования форматов данных согласно заданной конфигурации. Например, с помощью Kafka Connect можно настроить преобразование данных из MySQL в Snowflake.

5. Порядок преобразований данных. Существует две парадигмы создания конвейеров данных: ETL и ELT.

Конвейер, который извлекает данные, преобразовывает и затем их загружает называется ETL (Extract, transform, load) конвейером — это означает, что конвейер данных отвечает за изменение проходящих через него данных. ETL конвейер дает значительную экономию времени и места, поскольку не требуется сохранять данные, менять их и повторно сохранять. В зависимости от характера необходимых преобразований это преимущество может быть полезным или нежелательным из-за того, что конвейер данных должен отвечать как за вычисления, так и за хранение данных. Основным недостаток такого подхода заключается в том, что производимые в конвейере данных преобразования могут лишить другие блоки обработки возможности обрабатывать эти данные в дальнейшем. Например, создатель конвейера между MongoDB и MySQL решил отфильтровать часть событий и убрать из записей некоторые поля — в этом случае у всех обращающихся к данным в MySQL пользователям и приложениям предоставляется доступ лишь к части данных; если им по-

требуется доступ к отсутствующим полям, придется перестраивать конвейер и повторно обрабатывать данные (если они еще доступны).

Конвейер, который извлекает данные, загружает и затем их преобразовывает называется ELT (Extract, load, transform) конвейером — это означает, что он лишь минимально преобразует данные (в основном это касается преобразования типов данных), чтобы попадающие по месту назначения данные как можно меньше отличались от исходных. Затем целевая система собирает эти «сырые» данные и обрабатывает их должным образом. Преимущество ELT конвейеров заключается в их гибкости — у пользователей целевой системы есть доступ ко всем данным. В этих системах проще производить поиск возникающих при работе проблем, поскольку вся обработка данных выполняется в одной системе, а не распределяется между конвейером и дополнительными приложениями. Недостаток ELT конвейеров заключается в расходе ресурсов процессора и хранилища в целевой системе.

Применение Kafka Connect позволяет использовать функцию преобразования одного сообщения (Single Message Transformation), которая преобразует записи во время их копирования из источника в Kafka или из Kafka в требуемый элемент системы. Она включает в себя маршрутизацию сообщений в различные темы, фильтрацию сообщений, изменение типов данных и редактирование определенных полей. Более сложные преобразования, включающие объединение и агрегирование, можно выполнить с помощью клиентской библиотеки Kafka Streams [10].

6. Безопасность. Основные нюансы безопасности при работе с конвейерами данных:

- гарантии в шифровании проходящих через конвейер данных. Это особенно важно для конвейеров, проходящих через границы центров обработки данных (ЦОД);
- контроль доступа субъектов, которые могут вносить изменения в конвейер;
- обеспечение аутентификации конвейером при чтении им данных из мест с контролируемым доступом;
- соблюдение законов и нормативных актов (той страны, где располагаются ЦОД системы) при работе с персонально идентифицируемой информацией, касающейся ее хранения, использования и доступа к ней;
- контроль прав доступа к данным, поступающим в Kafka.

Kafka предоставляет возможность шифрования данных при передаче, когда она встроена в конвейер между источниками и приемниками данных, поддерживает аутентификацию (через SASL [11]) и авторизацию. В Kafka также имеется журнал аудита для отслеживания санкционированного и несанкционированного доступа. При использовании Kafka Connect все его элементы, включая коннекторы, должны иметь возможность подключения к внешним системам данных и аутентификации в них, при этом в конфигурации коннекторов обязаны присутствовать учетные данные для аутентификации во внешних системах. Хранение учетных данных в конфигурационных

файлах нежелательно ввиду сложностей с обращением и доступом к ним — решением этой проблемы является использование внешней системы управления учетными секретами (например, HashiCorp Vault [12]).

7. Обработка сбоев. Правильная обработка и анализ причин сбоев системы очень важны, так как позволяют предотвратить потерю данных в будущем. Сбои в работе могут происходить из-за различных нестандартных событий: дефектные записи, попадающие в конвейер, восстановление работы системы после обработки не поддающихся разбору записей, исправление «плохих» записей (возможно, при вмешательстве оператора) и их повторная обработка.

Брокер сообщений Kafka может быть настроен на долгое хранение всех событий и имеет возможность при необходимости повторно прочитать исходные данные и исправить необходимые ошибки. Это также позволяет воспроизводить события в целевой системе в случае их утери, так как они ранее были сохранены в Kafka.

Одной из важнейших задач при реализации конвейеров данных является расщепление источников и приемников данных. Случайное связывание может возникнуть в следующих случаях:

1. Узкоспециализированные конвейеры. Некоторые компании создают по отдельному конвейеру для каждой пары приложений, которые нужно связать. Например, эти компании могут использовать Logstash [13], чтобы выгрузить журналы в Elasticsearch, и Informatica [14] для перемещения данных из MySQL и XML-файлов в Oracle. Такая практика приводит к сильному связыванию конвейера данных с конкретными конечными точками и образует множество дополнительных точек интеграции, что значительно повышает затраты для развертывания, сопровождения и мониторинга — все это еще больше усложняет введение инноваций, ведь для каждой новой системы, появляющейся в компании, приходится создавать дополнительные конвейеры.

2. Потери метаданных. Если конвейер данных не сохраняет метаданные схемы и не позволяет ей эволюционировать (то есть отсутствует возможность её изменения), производящее данные программное обеспечение оказывается сильно связанным с программным обеспечением, их использующим. Без информации о схеме данных каждый из этих программных продуктов должен будет содержать информацию о способе разбора данных и их интерпретации. Если конвейер поддерживает эволюцию схемы данных, то команды разработчиков могут менять свои приложения независимо друг от друга.

3. Чрезмерная обработка. Определенная обработка данных является неотъемлемым свойством конвейеров, так как данные перемещаются между его различными частями, в которых используются разные форматы и поддерживаются различные сценарии. В том случае, если решения, принятые при создании конвейера, например, о том какие поля сохранять или как производить агрегирование данных, являются чрезмерными, то другие части могут быть ограничены в своих возможностях и для их полноцен-

ного функционирования им необходимо менять начальные настройки (например, одной части системы нужны не агрегированные, а исходные данные для работы). Такое постоянное изменение конвейера в зависимости от смены требований неэффективно, небезопасно и плохо соответствует концепции быстрой адаптации. Для соответствия этой концепции необходимо сохранять как можно больше необработанных данных и разрешать другим блокам системы самим решать, как их обрабатывать и агрегировать.

Использование Kafka во многом позволяет решить проблемы случайного связывания с помощью использования Kafka Connect и выбора правильных коннекторов между приемниками и передатчиками системы с возможностью изменения схем данных.

Выводы

Использование конвейеров данных в крупных системах обработки данных или при их масштабировании

в настоящее время является все более предпочтительным вариантом за счет возможностей многоэтапной последовательной обработки различных видов данных без чрезмерного усложнения внутренней логики отдельно взятой системы обработки путем добавления дополнительных функциональных блоков. Производительность СОД, использующей конвейеры данных, напрямую зависит от наличия надежных и эффективных средств взаимодействия между элементами всей системы в целом, особенно между источниками и приемниками данных, что делает необходимым использование правильно выбранного брокера сообщений, который, в свою очередь, должен обладать всеми требуемыми инструментами для интеграции.

Apache Kafka полностью удовлетворяет всем необходимым требованиям для использования в конвейерах данных в системах обработки данных, обладает простой интеграцией с помощью Kafka Connect и является решением с открытым исходным кодом, что позволяет легко реинтегрировать необходимые изменения в будущем.

Литература:

1. Объем и прогноз рынка Интернета вещей (IoT) по продуктам (компоненты, программное обеспечение); по сферам применения — тенденции роста, ключевые игроки, региональный анализ на 2026–2035 гг. // Researchnester: [сайт]. — URL: <https://www.researchnester.com/ru/reports/internet-of-things-iot-market/1189/> (дата обращения: 17.11.2025)
2. Что такое конвейер данных? Определение, типы, преимущества и варианты использования // Astera: [сайт]. — URL: <https://www.astera.com/ru/type/blog/data-pipeline/> (дата обращения: 17.11.2025)
3. Селезнёв, А. И. Обобщенная модель построения системы обработки данных / А. И. Селезнёв, И. Л. Селезнёв. — Текст: непосредственный // Молодой учёный. — 2024. — № 29. — С. 22–25.
4. Селезнёв, А. И. Брокеры сообщений в системах обработки данных / А. И. Селезнёв, И. Л. Селезнёв. — Текст: непосредственный // Молодой учёный. — 2025. — № 46. — С. 15–19.
5. How to ingest data to Elasticsearch through Kafka // Elastic: [сайт]. — URL: <https://www.elastic.co/search-labs/blog/elasticsearch-apache-kafka-ingest-data/> (дата обращения: 17.11.2025)
6. Шапира, Гвен. Apache Kafka. Поточковая обработка и анализ данных / Гвен Шапира, Тодд Палино, Раджини Сиварам, Крит Петти. — 2-е изд. — Санкт-Петербург: ООО «Прогресс книга», 2023. — 512 с. — Текст: непосредственный.
7. Расширенные возможности Apache Kafka // Proselyte: [сайт]. — URL: <https://proselyte.net/kafka-extended-abilities/> (дата обращения: 17.11.2025)
8. Что такое сериализаторы и десериализаторы в Kafka // Kafka-school: [сайт]. — URL: <https://kafka-school.ru/blog/kafka-serde/> (дата обращения: 17.11.2025)
9. Introduction to Kafka Connect // Confluent.Developer: [сайт]. — URL: <https://developer.confluent.io/courses/kafka-connect/intro/> (дата обращения: 17.11.2025)
10. Kafka Streams для начинающих. Поточковая обработка данных в мире Java // Habr: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/939872/> (дата обращения: 17.11.2025)
11. How to Secure Your Network with the Simple Authentication and Security Layer (SASL) Protocol // Medium: [сайт]. — URL: <https://medium.com/@RocketMeUpCybersecurity/how-to-secure-your-network-with-the-simple-authentication-and-security-layer-sasl-protocol-3f00316c77d8/> (дата обращения: 17.11.2025)
12. Secure Kafka with Vault // Hashicorp: [сайт]. — URL: <https://developer.hashicorp.com/validated-patterns/vault/vault-securing-kafka/> (дата обращения: 17.11.2025)
13. Для чего нужен Logstash? // Gitverse: [сайт]. — URL: <https://gitverse.ru/blog/articles/development/105-dlya-chego-nuzhen-logstash/> (дата обращения: 17.11.2025)
14. What is Informatica? Is It The Data Management Solution You've Been Overlooking // Syncari: [сайт]. — URL: <https://syncari.com/blog/what-is-informatica/> (дата обращения: 17.11.2025)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Современные подходы к управлению устройствами силовой электроники¹

Букин Даниил Андреевич, аспирант, инженер;
Кузнецов Дмитрий Сергеевич, аспирант, ассистент;
Мухин Александр Сергеевич, студент

Научный руководитель: Красноперов Роман Николаевич, кандидат технических наук, доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Москва)

Введение

Начало нашего века ознаменовано удивительными открытиями в областях электронной промышленности, информатики, кибернетики и робототехники. Заводы и лаборатории, многоквартирные дома и учреждения стремительно наполняются электронными устройствами различного назначения и мощности, в том числе с нелинейным характером потребляемого тока [1]. В связи с этим неминуемо растёт нагрузка на электроэнергетический комплекс.

Так, распределительным сетям — конечному этапу передачи электроэнергии от электростанций к потребителю — уже недостаточно поддерживать высокие показатели качества электроэнергии при большой средней потребляемой мощности. Требуется компенсировать несимметрию нагрузок и реактивную составляющую мощности; подстраиваться под сезонные, суточные и другие динамические изменения режимов потребления электроэнергии; обеспечивать качественное электропитание удалённых от генерирующих мощностей потребителей. Данные проблемы зачастую решаются установкой в сети так называемых устройств силовой электроники (УСЭ).

УСЭ в общем случае представляют собой преобразователи электрической энергии, тем или иным образом обеспечивающие повышение показателей качества электроэнергии на определённом участке сети. Так, в зависимости от характера нагрузок и состояния самой распределительной сети могут использоваться устройства симметрирования [2], компенсаторы реактивной мощности [3], накопители [4] и другие устройства. Применение УСЭ позволяет улучшить показатели качества электрической энергии, довести их до регламентируемых стандартом величин без существенной модернизации имеющихся на

данном участке объектов электросетевого хозяйства. Это, в свою очередь, позволяет вести модернизацию электросетевого комплекса планомерно и централизованно, вне зависимости от проблем отдельных участков.

Однако на текущем этапе развития УСЭ всё ещё имеют существенные недостатки: относительно высокую стоимость и недостаточно качественное решение поставленных задач: компенсацию реактивной мощности, несимметрии в сети и др. Снижение стоимости и повышение качества работы УСЭ позволят использовать их более широко, что поможет обеспечить большее число потребителей качественным электропитанием и вместе с тем вести устойчивое развитие электросетевого комплекса всей страны.

Любое УСЭ можно разделить на силовую часть и систему управления. Под силовой частью понимается совокупность всех компонентов, обеспечивающих передачу электрической энергии от первичного источника к потребителю. Система управления, в свою очередь, обеспечивает сбор информации с датчиков, её обработку, формирует управляющее воздействие для управления устройствами силовой части и поддерживает обмен данными с системами управления верхнего уровня, такими как диспетчерские центры или автоматизированные рабочие места на подстанциях.

В настоящий момент силовая часть основных типов УСЭ достаточно подробно изучена и проработана. Так, даже очень масштабные исследования в этой области позволяют получить лишь относительно небольшой прирост показателей УСЭ (КПД, качество отработки переходных процессов и др.). Более того, можно наблюдать замедление прогресса в области проектирования силовых полупроводниковых ключей — основного элемента большей части УСЭ.

¹ Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и исследование адаптивной нейросетевой системы управления источника бесперебойного питания для сетей с нелинейными нагрузками» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2024-2026 гг.

Однако вторая часть УСЭ — система управления — может быть существенно улучшена с применением последних достижений в области математических и информационных наук, развитием подходов к компьютерному моделированию [5], повышением доступности нейросетевых технологий для специалистов различных областей.

В данной статье рассмотрены основные существующие и перспективные подходы к построению ключевой части систем управления УСЭ — регуляторов. Описаны принципы работы классических ПИД — регуляторов, нейросетевых регуляторов и предложен подход к построению комбинированной системы управления, объединяющей преимущества обоих подходов.

Часть 1

Основной, хорошо изученный и широко применяемый подход к управлению любыми технологическими процессами, в частности работой УСЭ — ПИД-регуляторы. Их задача — поддержание некоторого параметра (например, выходного напряжения преобразователя) на заданном уровне. Регулятор вычисляет управляющий сигнала, представляющий собой сумму трёх составляющих отклонения управляемой величины: пропорциональной (П), интегральной (И) и дифференциальной (Д), и передаёт сформированное управляющее воздействие на объект управления. Корректно настроенный ПИД — регулятор в статическом режиме поддерживает управляемую величину на заданном уровне, а также быстро возвращает эту величину в заданные пределы при воздействии возмущений. Математическое выражение, описывающее работу ПИД-регулятора, имеет следующий вид:

$$u(t) = K_p u(t) + K_i \int_0^T e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Здесь K_p , K_i , K_d — числовые коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих регулятора соответственно, $e(t)$ — мгновенное значение отклонения регулируемой величины от заданной уставки. Именно за счёт подстройки коэффициентов регулируется скорость реакции регулятора на резкие изменения управляемой величины и её постоянные колебания в статическом режиме.

ПИД — регулятор является мощнейшим инструментом управления любыми системами, в том числе УСЭ. Дифференциальная составляющая позволяет регулятору быстро реагировать на сильные отклонения, пропорциональная — минимизировать перерегулирование, интегральная — обеспечивать стабильное управление в статическом режиме. Однако, несмотря на большую распространённость, этот подход имеет ряд недостатков.

Во-первых, настройка ПИД — регулятора для нелинейной системы — сложный, итерационный процесс. Невозможно учесть все особенности реальной системы при расчёте и моделировании, поэтому необходим этап дора-

ботки регулятора на реальном устройстве перед вводом в эксплуатацию.

Во-вторых, классический ПИД — регулятор не имеет возможности изменять коэффициенты в связи с изменяющимися условиями эксплуатации. В связи с этим при сменах режимов электрической сети, старении компонентов качество работы регулятора будет ухудшаться.

В-третьих, для каждой системы настройка ПИД-регулятора имеет в той или иной мере уникальный характер. В особенности это характерно для этапа доработки на реальном оборудовании. В связи с этим, как правило, невозможно настроить один регулятор, который сможет управлять всеми устройствами определённого типа.

Для решения этих проблем используются различные подходы, такие как алгоритмы подбора коэффициентов, ПИД-регуляторы с автоподстройкой, регуляторы на нечёткой логике и другие, однако ни одно из решений не позволяет полностью ликвидировать недостатки классических регуляторов.

Несмотря на перечисленные ограничения, полноценной альтернативы, обеспечивающей близкую к классическим регуляторам простоту и универсальность, но при этом более гибкой и удобной в настройке и эксплуатации, на данный момент не существует.

Часть 2

В настоящее время в связи со стремительным развитием нейросетевых технологий широко изучается возможность применения машинного обучения в различных технических областях, в том числе и в системах управления [6].

Основанием для такого применения искусственных нейронных сетей (ИНС) служит их природа как универсального аппроксиматора. За счёт гибкой архитектуры и адаптивности ИНС становится возможным определение функции управления практически любого характера и сложности.

Например, даже ИНС простейшей архитектуры — сеть прямого распространения, в которой информация передаётся только в одном направлении, без рекуррентных связей — способна аппроксимировать сложные нелинейные зависимости сигнала управления УСЭ от различных измеряемых величин: токов и напряжений в узлах силовой части устройства, их интегралов и дифференциалов.

Однако для успешного применения нейросетевых технологий в системах управления отдельных УСЭ недостаточно просто заменить классический регулятор нейросетевым, так как необученная нейронная сеть не сможет по качеству работы приблизиться к корректно настроенному ПИД — регулятору. Требуется обучение нейронной сети, для которого, в свою очередь, необходимо иметь большие объёмы подготовленных данных: массивов измеренных значений — токов и напряжений — и соответствующих им выходных воздействий и состояний системы. Естественно, что сбор таких данных в сетях не ведётся на по-

стоянной основе, а немногие собранные данные не отвечают требованиям к отсутствию шумов, структуризации и полноте.

В связи с этим единственным подходом, позволяющим эффективно применить ИНС в системах управления УСЭ, интегрируемых в распределительные электрические сети, является подход обучения с подкреплением. Это алгоритм, благодаря которому возможно на компьютерной модели, без риска для дорогостоящего оборудования, многократно обучать нейросетевую систему управления методом «проб и ошибок». При вводе обученной таким образом системы в эксплуатацию её «любопытность», выражаемая определённым числовым коэффициентом, искусственно снижается для обеспечения стабильной работы по ранее выученному алгоритму.

Часть 3

Таким образом, нейросетевые системы управления являются перспективным направлением и обладают существенными преимуществами по сравнению с классическими регуляторами, однако также не лишены недостатков: отсутствие сходимости, сложность сбора данных, необходимость для обучения имитационной модели УСЭ.

Однако в качестве подхода, объединяющего преимущества классической и нейросетевой систем управления, предлагается рассмотреть комбинированную систему управления. Такая система объединяет в себе робастное обучение с подкреплением и принцип нейросетевой подстройки коэффициентов классического ПИД — регулятора.

Робастное обучение с подкреплением позволяет исключить один из самых существенных недостатков ИНС при их применении в реальных промышленных устройствах — отсутствие гарантированной сходимости функции управления. Так как в общем случае неизвестен точный вид функции управления, аппроксимированной ИНС (такая система называется «чёрным ящиком»), нельзя с уверенностью утверждать, что у этой функции на каком-либо участке нет формы, противоречащей требуемому закону управления. Робастное обучение с подкреп-

лением предполагает переключение на стабильный, пусть и не оптимальный, закон управления в случае выхода формируемого ИНС воздействия за заданные пределы, что позволяет довести надёжность системы до уровня классического регулятора, при этом сохранив гибкость нейросетевой системы и отсутствие необходимости расчёта и ручной подстройки коэффициентов.

В свою очередь замена прямого нейросетевого управления косвенным, при котором ИНС формирует не само управляющее воздействие, а коэффициенты ПИД-регулятора, позволяет существенно ускорить обучение ИНС, упростить используемые при обучении функции формирования награды.

Заключение

Для обеспечения устойчивого развития промышленности и электросетевого комплекса ключевым аспектом является повышение доступности и качества работы УСЭ, важнейшей составляющей которых является СУ.

Проработка и использование комбинированного подхода к управлению УСЭ, объединяющего преимущества классической и нейросетевой СУ, позволит снизить стоимость и сократить время на разработку новых УСЭ, упростить этапы наладки и ввода в эксплуатацию. Оснащённые такой системой управления устройства смогут адаптироваться к изменению режимов работы сети, введению новых нагрузок и изменению параметров компонентов в связи со старением. Комбинированная СУ, разработанная для определённого типа УСЭ с заданным набором входных величин и выходных воздействий может быть применена для всех УСЭ данного типа без дополнительной подстройки, то есть является универсальной.

Таким образом, комбинированный подход к управлению УСЭ, объединяющий классический регулятор, ИНС и робастное обучение с подкреплением, является перспективным для внедрения в устройства, интегрируемые в распределительные электрические сети, позволит поддерживать качественное электроснабжение потребителей в условиях постоянного роста потребления электроэнергии.

Литература:

1. Регулирование тока в многофазных двигателях с расщеплёнными обмотками при обрыве цепи управления силовым ключом / М. М. Лашкевич, К. Г. Федорова, А. Юсеф [и др.] // Вестник Московского энергетического института. — 2024. — № 4. — С. 11–20. — DOI 10.24160/1993–6982–2024–4–11–20. — EDN RFFJXY.
2. Анализ влияния симметрирующих устройств на режимы работы распределительных сетей / А. М. Эльхоли, Д. И. Панфилов, М. Г. Асташев [и др.] // Электротехника. — 2024. — № 6. — С. 2–16. — DOI 10.53891/00135860–2024–6–2–16. — EDN KKVRBO.
3. Системы управления полупроводниковыми регуляторами мощности в распределительных сетях / П. А. Рашитов, М. Г. Асташев, Д. И. Панфилов [и др.] // Электротехника. — 2024. — № 6. — С. 25–33. — DOI 10.53891/00135860–2024–6–25–33. — EDN DXLN XU.
4. Булатов, Р. В. Методика выбора параметров аккумуляторных систем накопления электрической энергии для эффективной интеграции электростанций на базе возобновляемых источников энергии в энергосистемы / Р. В. Булатов, Р. Р. Насыров, М. В. Бурмейстер // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2023. — № 5(80). — С. 44–53. — EDN NMCYFY.

5. Pawletta, Thorsten & Bartelt, Jan. (2023). Integration of Reinforcement Learning and Discrete Event Simulation Using the Concept of Experimental Frame.
6. R. Krasnoperov, D. Bukin, D. Kuzenev and A. Mukhin, «Implementation of Low-Level Control Systems for Power Converters Based on Adaptive Artificial Neural Networks», 2025 IEEE 26th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation, 2025, pp. 940-944, doi: 10.1109/EDM65517.2025.11096867.

Перспективные направления строительства дорог с цементобетонным покрытием

Зыков Егор Сергеевич, студент магистратуры
Уральский государственный лесотехнический университет (г. Екатеринбург)

Рассмотрены характерные отличия цементобетона от асфальтобетона, проявляющиеся в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог из этих материалов. Отмечены достоинства дренажного (крупнопористого) бетона. Рассмотрено влияние различных добавок, используемых в России и в западных странах. Сделан вывод о перспективах использования инновационных материалов и технологий в дорожном строительстве.

Ключевые слова: цементобетонное дорожное покрытие, цементобетонные смеси, строительство автомобильных дорог.

Perspective directions of construction of roads with cement concrete pavement

The article discusses promising road construction technologies used for the arrangement of road pavements. The characteristic differences of cement concrete from asphalt concrete, which are manifested in the construction and operation of highways from these materials, are considered. The advantages of draining (large-porous) concrete are noted. The influence of various additives used in Russia and in Western countries is considered. The conclusion is made about the prospects of using innovative materials and technologies in road construction.

Keywords: cement-concrete road surface, cement-concrete mixtures, road construction.

Динамичное развитие автомобильного транспорта и объемы грузоперевозок определяют необходимость постоянного развития дорожной сети, улучшения дорожного покрытия. Неудовлетворительное состояние автомагистралей приводит к снижению скорости движения, повышенному износу деталей и узлов автомобилей, более частому ремонту транспортных средств, увеличению расхода топлива и увеличению числа дорожно-транспортных происшествий. Сегодня все дорожно-строительные технологии устройства дорожных одежд основаны на использовании двух альтернативных материалов: асфальтобетона и цементобетона. Все теоретические расчеты и практические исследования свидетельствуют о том, что независимо от того, в каких погодных-климатических условиях, при какой интенсивности движения и каком виде транспортного потока эксплуатируется дорога, цементобетонное покрытие служит значительно дольше. Межремонтный срок службы жестких цементобетонных одежд значительно превышает этот показатель для нежестких покрытий и составляет 7–25 лет [1]. С учетом этих характеристик применение цементобетона при строительстве автомобильных дорог представляется целесообразным.

При использовании цементобетона в дорожном строительстве необходимо учитывать местную специфику. Ха-

рактеристики бетонного покрытия определяются составом используемой бетонной смеси. Особое значение имеют такие свойства, как прочность на изгиб и морозостойкость. В горных районах страны эти свойства играют ключевую роль.

Хорошая морозостойкость бетона обеспечивается, с одной стороны, добавлением в него соответствующих заполнителей, а с другой — пониженным водоцементным отношением и воздухововлечением в бетонную смесь. Уменьшенное водоцементное отношение требует равномерного распределения цемента по всему объему бетона и создания условий для его гидратации. Это достигается добавлением пластифицирующих добавок.

На длительный срок службы цементобетонного покрытия влияют физико-химические свойства цементобетона. Прочность и склонность к деформации цементобетона практически не изменяются при изменении температуры и влажности, чего нельзя сказать об асфальтобетоне. Цементобетонное основание характеризуется увеличением прочности в процессе эксплуатации (примерно на 10–20 %), несмотря на постоянные нагрузки от транспорта и воздействие природных факторов. В результате на современных цементобетонных автомобильных дорогах исключается образование колеи, которая неизменно появляется на асфальтобетонном покрытии [2].

Сегодня придать бетону определенные свойства или изменить его характеристики можно химическим путем — путем добавления в смесь различных компонентов. Бетон, используемый для строительства автомобильных дорог, должен обязательно содержать воздухововлекающие и пластифицирующие добавки. Благодаря активному использованию инновационных добавок, удается улучшить характеристики бетона, чтобы он соответствовал самым жестким современным требованиям [3].

Развитие современных технологий в области производства бетона для дорожных работ идет в направлении повышения прочности и долговечности готового дорожного покрытия. Решение этой проблемы становится возможным благодаря включению в состав бетонной смеси трёх видов добавок: воздухововлекающей, пластифицирующей и газообразующей. Российским специалистам удалось получить хорошие результаты при использовании комплексной химической добавки, включающей суперпластификатор С-3 и воздухововлекающую добавку СНВ.

В западных странах активно применяется комплексная добавка, в которой сочетаются пластифицирующее, воздухововлекающее и газообразующее действие. Практика применения цементобетонных покрытий показывает,

что использование высококачественного бетона позволяет уменьшить толщину однослойного бетонного покрытия примерно на треть по сравнению с листом, изготовленным на основе бетона класса В3,5. Это делает однослойные высококачественные бетонные покрытия предпочтительными как с технологической, так и с экономической точки зрения.

Особый интерес представляет применение дренажного (крупнопористого) бетона в дорожном строительстве. Тщательный подбор состава с использованием необходимых химических и минеральных добавок позволяет получить высокопрочный бетон, выдерживающий нагрузку 30 МПа. Такой материал эффективно использовать в качестве верхнего или промежуточного слоя многослойной конструкции. Благодаря этому удастся избежать эффекта аквапланирования и накопления влаги в основании дорожного полотна, что значительно продлевает срок службы дорожного покрытия.

Таким образом, можно утверждать, что применение инновационных материалов и технологий в дорожном строительстве является приоритетным. Это позволяет развивать дорожную сеть высокими темпами при меньших финансовых затратах.

Литература:

1. Салимова В. Д. Кхудякулов Р. М. Цементобетонные смеси в строительстве автомобильных дорог. Вестник науки и образования, 2020 № 3–3 (81)
2. Пугин К. Г. Усшков В. С. Использование вторичных материалов для цементобетонных покрытий. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности, 2013.
3. Якобсон М. Я. Актуальность и перспективы применения цементобетона в дорожном строительстве. Системные технологии, 2016. № 18.

Оценка инновационности инженерных решений Александра Владимировича Соколова

Кауров Александр Сергеевич, кандидат технических наук, генеральный директор
ООО «Производственное объединение им. Губкина И. М.» (г. Санкт-Петербург)

Статья посвящена анализу инженерного подхода Александра Владимировича Соколова и оценке его вклада в развитие технологий динамической гомогенизации топливных смесей, безреагентной обработки жидких сред, резонансного контроля и комплексной очистки сточных вод. В обзоре рассматриваются авторские статьи Соколова, а также его патентные материалы и опубликованные независимые работы других исследователей. Показано, что Соколов формирует собственную технологическую линию, ориентированную на использование фундаментальных физических процессов и на построение устойчивых, управляемых инженерных систем. Делается вывод о том, что его разработки обладают признаками самостоятельного инженерного вклада и соответствуют современным требованиям к технике, работающей с жидкими средами.

Ключевые слова: Александр Владимирович Соколов, инженерные инновации, динамическая гомогенизация, безреагентная обработка, резонансный контроль, очистка сточных вод, инженерные системы.

В современной инженерной практике нередко наблюдается разрыв между теоретическими представлениями о поведении жидких сред и реальными эксплуатацион-

ными условиями. Многие технологические решения проектируются исходя из идеализированных моделей, тогда как в реальных системах топливо, вода и технологические

растворы демонстрируют сложное, часто нестабильное поведение [3]. Этот разрыв особенно заметен в таких областях, как отопительные системы, автономные энергетические установки, инженерные коммуникации зданий, водоподготовительные комплексы и системы очистки сточных вод [4]. На этом фоне работы Александра Владимировича Соколова выделяются стремлением преодолеть указанное противоречие. Его исследования и разработки направлены на построение инженерных решений, в которых свойства среды рассматриваются не как неизменная данность, а как управляемый параметр. Такой подход задаёт иной характер технологического проектирования: вместо адаптации оборудования к непредсказуемой среде предлагается стабилизировать саму среду и сделать её поведение контролируемым.

Эта логика последовательно проявляется в работах Соколова. В статье «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» он подчёркивает, что характеристики топлива, проходящего через магистрали, существенно изменяются под действием времени, температуры, давления и естественного расслоения [5]. Эти изменения оказывают прямое влияние на стабильность горения, расход топлива, ресурс насосов и форсунок. Поэтому задача инженера, не только корректировать режимы работы оборудования, но и привести топливо в состояние, позволяющее ему демонстрировать предсказуемые свойства.

Подобный подход прослеживается и в статье «Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей» [6]. Здесь автор показывает, что вода и технологические растворы обладают сложной структурой, зависящей от характера потока, наличия газовой фазы, распределения примесей и локальных перепадов давления. Он предлагает использовать вихревые, кавитационные и газожидкостные процессы как инструменты для изменения этой структуры. Такой способ обработки открывает возможность уменьшать объёмы реагентов, снижать энергозатраты и повышать эффективность последующих операций очистки.

Патентная разработка, посвящённая комплексной очистке сточных вод и извлечению металлов, объединяет эти идеи в единую технологическую систему. В ней структура потока, распределение фаз, интенсивность газонасыщения и электропроводность раствора рассматриваются как параметры, которые можно регулировать в ходе обработки. Это позволяет последовательно формировать необходимые условия для механической фильтрации, отделения органики, электроэкстракции металлов и финального контроля качества воды.

В совокупности эти разработки показывают, что Соколов формирует собственный подход к инженерной работе. Он стремится создавать решения, в которых состояние среды становится основой проектирования, а управление физическими процессами — ключевым инструментом достижения технологического результата.

Дополнительный интерес представляет то, как Соколов рассматривает инженерную задачу не в рамках от-

дельных установок, а в рамках эксплуатационных сценариев. Во всех его работах встречается анализ того, как жидкая среда ведёт себя при длительной работе оборудования, при регулярных колебаниях входных параметров, при изменении температуры, расхода или состава примесей. Это отличает его подход от большинства прикладных исследований, где внимание обычно сосредоточено на отдельных участках процесса. Соколов, напротив, связывает поведение среды с режимами работы всей технологической цепочки и описывает, какие изменения в структуре потока приводят к смещению эксплуатационных характеристик.

В статье «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» эта логика проявляется особенно чётко [5]. Топливо рассматривается как изменяемый объект, подверженный расслоению, накоплению воды и образованию плотных включений. Вместо того чтобы компенсировать эти эффекты повышением давления, увеличением мощности насосов или частотой обслуживания аппаратуры, Соколов предлагает стабилизировать структуру топлива. Он показывает, что выравнивание распределения фаз и устранение крупных включений способствует повышению устойчивости всей системы.

В статье «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» Соколов описывает конструкцию узла динамической гомогенизации топлива, основанного на управляемом изменении скорости потока, локальных перепадов давления и вихревых структур. Устройство представляет собой систему коаксиальных каналов, где последовательное сужение и расширение потока создаёт зоны контролируемой турбулентности и кавитации. Эти процессы обеспечивают дробление включений, выравнивание структуры топлива и придание ему стабильных характеристик.

Особенностью подхода является не только механическая конструкция устройства, но и понимание его роли в системе. Соколов рассматривает гомогенизацию не как вспомогательный элемент, а как обязательную стадию подготовки топлива перед впрыском. Он показывает, что стабильная структура топлива уменьшает нагрузку на насосы высокого давления, снижает риск неравномерного горения, повышает устойчивость пламени и способствует более полному сгоранию. Интересным аспектом является масштабируемость решения. Устройство может работать как в малых системах с расходом нескольких десятков литров в час, так и в крупных магистралях с расходом до 15 тысяч литров в час. При этом принцип работы остаётся неизменным. Такое свойство позволяет говорить о платформенном характере решения и о возможности его применения в широком спектре инженерных объектов.

Вторая крупная группа разработок Соколова связана с обработкой воды и технологических растворов. В статье «Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей» он выстраивает системное представление о том, как гидродинамические и газожидкостные процессы могут использоваться в качестве основных тех-

нологических инструментов [2]. В его трактовке жидкость не рассматривается как химически инертная среда, требующая постоянного введения реагентов для достижения нужного результата. Она становится активным участником процесса, а её состояние поддается регулированию.

В этой работе Соколов подробно анализирует, как вихревые движения, кавитационные процессы, насыщение газами, формирование пены и тумана влияют на структуру жидкости, распределение загрязнений, теплотехнические характеристики и дальнейшую технологическую применимость. Он показывает, что формирование стабильных вихревых зон может увеличивать интенсивность массопереноса и изменять распределение компонентов в растворе. Газожидкостные процессы при правильной настройке способны выделять органические примеси, разделять фракции загрязнений, улучшать условия для электрохимических реакций и повышать теплообмен. Особое внимание Соколов уделяет тому, как эти процессы могут работать совместно. Он рассматривает жидкости как многокомпонентную систему, в которой механические и газодинамические воздействия могут создать условия, сближающие свойства раствора с теми, которые обычно достигаются реагентной обработкой. Поэтому многие технологические задачи, традиционно решаемые добавлением химических веществ, в его подходе могут быть выполнены за счёт управления структурой потока.

Инженерная значимость предложенного подхода состоит в том, что он создаёт базу для перехода к безреагентным и малореагентным схемам. Это соответствует современным тенденциям экологизации технологических процессов, снижению себестоимости эксплуатации и переходу к ресурсосберегающим методам. Работы Соколова показывают, что такие технологии не требуют коренной перестройки инженерных объектов: достаточно внедрить модули, формирующие управляемую гидродинамику и газожидкостные структуры.

Ещё одним направлением, которое дополняет общую методологию Соколова, является резонансный контроль состояния жидких сред. В его публикациях этот метод описан как способ получения информации о параметрах жидкости без необходимости отбора проб и использования внешних сенсорных головок, контактирующих со средой. В основе метода лежит взаимодействие жидкой среды с переменным электромагнитным полем. Когда жидкость помещается в область, где создаётся такое поле, она становится частью резонансного контура. Изменение её свойств отражается на параметрах этого контура, включая амплитудно-частотные характеристики и импеданс. Это позволяет отслеживать содержание ионов, степень загрязнённости, однородность среды, текущее состояние технологического процесса и динамику структурных изменений.

Важность разработанного метода заключается в том, что он прямо связан с первым этапом обработки — стабилизацией структуры среды. Если жидкость заранее приведена в состояние высокой однородности, то измерения

становятся значительно точнее. Таким образом, два направления инженерной деятельности Соколова (гомогенизация и резонансный контроль) образуют взаимодополняющий комплекс.

Этот комплекс позволяет не просто выполнять технологические операции, но и контролировать их на каждом этапе с высокой точностью. Когда структура жидкости стабильна, измерительные сигналы становятся однозначными, а система управления получает возможность регулировать процесс в реальном времени. Соколов рассматривает такую связку как стратегически важную для инженерных объектов нового поколения, особенно для умных систем зданий, автономных производственных комплексов и инфраструктуры, в которой высока доля автоматизированных процессов. Важным элементом резонансного контроля, предложенного Соколовым, является его способность фиксировать не только текущее состояние среды, но и тенденции изменения параметров. Колебательные характеристики изменяются в ответ на малые структурные сдвиги, поэтому система может заранее указывать на намечающиеся отклонения. В инженерной практике это полезно там, где требуется раннее обнаружение изменений качества воды или топлива. Такой тип диагностики отличается высокой чувствительностью и может использоваться как дополнение к традиционным сенсорным системам без необходимости глубокого вмешательства в конструкцию оборудования.

Резонансные методы контроля, как он показывает, обладают дополнительным преимуществом, возможностью интеграции в цифровую инфраструктуру. В этом случае показатели качества среды становятся входными данными для аналитических модулей, что позволяет организовать непрерывный мониторинг и автоматическое регулирование потоков.

Патентная разработка Соколова, посвящённая очистке сточных вод и извлечению металлов, представляет собой важное звено в цепочке его инженерных решений. В этой работе он объединяет принципы, описанные в научных статьях, и дополняет их электрохимическими методами. Получившаяся технологическая схема демонстрирует его способность формировать многоступенчатый процесс, в котором каждая стадия подготавливает условия для следующей. Основная идея патента заключается в том, что очистка сточных вод должна быть непрерывным процессом с контролируемыми параметрами на каждом этапе. Сначала поток проходит через ступени подготовки, где удаляются крупные примеси и стабилизируется структура жидкости. Затем поток попадает в блоки, основанные на вихревых и газонепрерывных явлениях, где выделяются органические компоненты. На следующем уровне применяется электроэкстракция, для которой жидкость должна обладать определённой проводимостью и уровнем однородности.

Соколов подчёркивает, что работа электроэкстракционных модулей напрямую зависит от того, насколько правильно подготовлена среда. Поэтому в его схеме пред-

варительная обработка не является вспомогательной операцией; она выступает главным условием эффективности последующей стадии извлечения металлов. Электроды объёмно-пористой структуры обеспечивают интенсивный контакт раствора с активной поверхностью, однако их эффективность максимальна только тогда, когда жидкость обладает необходимыми свойствами.

На завершающем этапе патентной схемы применяется резонансный контроль, позволяющий оценивать остаточную концентрацию металлов, степень очистки и необходимость коррекции параметров. Такой подход делает процесс управляемым, а не дискретным. Он демонстрирует высокий уровень инженерной зрелости автора, который стремится создать систему, способную адаптироваться к изменениям характеристик потока. Патентная разработка показывает, что Соколов не ограничивается анализом физических процессов, а формирует завершённый технологический комплекс, состоящий из подготовительных, рабочих и контрольных блоков. Такой уровень интеграции редко встречается в прикладных инженерных разработках и служит подтверждением личного вклада автора в развитие отрасли.

С практической точки зрения подход Соколова ориентирован на те области, где характер потоков меняется в течение суток и где классические технологические решения не успевают компенсировать эти изменения. Это касается систем отопления с переменной нагрузкой, очистных сооружений предприятий, работающих в циклическом режиме, а также распределённых инженерных систем в зданиях [4]. Во всех этих случаях стабильность потока становится критическим условием ресурсоэффективной работы оборудования. Предложенные Соколовым методы позволяют формировать режимы, которые выдерживают эксплуатационные колебания без потери качества обработки, что делает его разработки применимыми не только в лабораторных условиях, но и в реальной инженерной среде.

Инженерный подход Александра Владимировича Соколова постепенно формирует самостоятельное направление, которое объединяет методы подготовки среды, физические процессы обработки и инструменты точного контроля. Его вклад состоит не только в том, что он предлагает новые конструкции и технологические решения. Значимым является то, что эти решения объединены общей методологией, позволяющей рассматривать жидкие среды как динамические и управляемые системы. Работы Соколова демонстрируют системный характер инженерного подхода: он строит процессы по заранее определённой последовательности, где физическая подготовка среды рассматривается как часть общей логики управления. Такое структурирование наблюдается как в его публикациях по безреагентной обработке жидкостей, так и в патентной разработке комплексной установки очистки сточных вод. Схема, повторяющаяся в разных проектах, отражает устойчивость авторской инженерной модели.

В статье «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» это проявляется в стремлении обеспечить устойчивые характеристики топлива ещё до того, как оно поступит в камеру сгорания. Он показывает, что правильное структурирование топлива позволяет уменьшить вероятность образования зон неравномерного горения и снизить ресурсную нагрузку на оборудование. Такой подход подтверждает его способность видеть систему целиком и учитывать взаимодействие рабочих процессов на разных уровнях.

В статье «Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей» его подход получает развитие в иной области. Он показывает, что многие процессы, традиционно требующие химических реагентов, можно заместить физическими воздействиями, если изменить условия протекания потока. Этот подход открывает возможность к переходу на методы более устойчивой очистки и переработки жидкостей. В условиях растущих требований к экологичности технологий это направление особенно важно, поскольку позволяет снизить объём химического воздействия и уменьшить нагрузку на инфраструктуру очистных сооружений.

Его патентная разработка по очистке сточных вод объединяет ключевые элементы его методологии в законченный технологический комплекс. Здесь хорошо просматривается логика, которая проходит через все исследования Соколова: стабильная структура потока создаёт условия для эффективной работы последующих ступеней; каждая операция подготавливает среду к следующей; контроль осуществляется непрерывно и отражает реальные изменения свойств жидкости.

Отдельного внимания заслуживает то, что в его работах просматривается объединение механики, гидродинамики, электрохимии и методов измерений. Это делает его разработки актуальными в условиях, когда инженерные системы становятся всё более сложными и объединяют несколько технологических процессов в единую структуру. Способность интегрировать различные методы в одну технологическую линию является важной характеристикой инженера-практика, работающего на пересечении областей.

Разработки Александра Владимировича Соколова представляют собой связанный комплекс инженерных решений, в котором прослеживается единая линия: от анализа состояния жидких сред до формирования методов их подготовки, обработки и контроля. Его подход основан на стремлении использовать естественные физические явления — турбулентность, кавитацию, газодинамику, электромагнитные отклики — как основу технологических процессов. Такой взгляд позволяет создавать решения, которые работают не за счёт наращивания объёмов реагентов или энергетических затрат, а за счёт точного регулирования поведения среды. В результате формируется инженерная платформа, включающая гомогенизацию топливных смесей, безреагентную обра-

ботку технологических жидкостей, методы резонансной диагностики и комплексные схемы очистки сточных вод. Эти решения связаны между собой не только общим авторством, но и единым принципом: технологический процесс должен начинаться с формирования правильного состояния среды, иначе все последующие операции будут носить компенсирующий характер.

С учётом того, что разработки Соколова уже стали предметом анализа в независимых экспертных публикациях, можно говорить о признании его подходов профессиональным сообществом. Его работы обладают потенциалом для широкого внедрения в инженерные системы, где требования к эффективности, стабильности и экологичности процессов постоянно растут.

Литература:

1. Гаврилов Д. С. Новые умные технологии в инфраструктуре умного дома. Интернаука. 2025. № 15(379). С. 30–36.
2. Миркин Л. Г. Приемы и алгоритмы формирования инновационных технических решений. Интернаука. 2025. № 14(378). С. 22–28.
3. Некрасов В. П. Гидродинамические методы очистки сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 5. С. 14–20.
4. Попов М. И. Многоступенчатые инженерные системы водоподготовки. Водоснабжение. 2024. № 1. С. 12–19.
5. Соколов А. Отопительная система в инфраструктуре умного дома. Интернаука. 2025. № 15(379). С. 12–19.
6. Соколов А. Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей. Интернаука. 2025. № 16(380). С. 8–15.

Разработка облика комплексного испытательного стенда современных узкофюзеляжных воздушных судов гражданского назначения

Ледовских Даниил Геннадьевич, студент

Научный руководитель: Бородин Александр Александрович, кандидат технических наук, преподаватель
Высшая школа системного инжиниринга Московского физико-технического института (г. Долгопрудный)

В статье рассматривается системный подход к разработке облика комплексного стенда испытаний гидроагрегатов и бортового оборудования современного узкофюзеляжного самолета. Предлагается комбинированное решение, объединяющее реальное оборудование («железная птица») и его виртуальные модели («электронная птица»), что позволяет достоверно моделировать эксплуатационные сценарии и экономить ресурсы. Применяется методология MBSE (SysML) и инструменты системного инжиниринга (QFD/НоQ, АНР) для формализации и приоритизации требований. В результате сформированы ключевые требования и функции стенда, описаны несколько вариантов решений. Выполнено сравнение предложенных вариантов по критериям масштабируемости, точности моделирования, интеграции с бортовыми системами и др. Представлены аналитические таблицы: с приоритетами требований, сравнением элементами решений и соотношением функций стенда с техническими элементами. Полученные результаты показывают, что интегрированный подход с использованием модульных гидравлических систем, цифровых платформ сбора данных и математического моделирования обеспечивает высокую точность и гибкость испытаний, соответствие авиационным стандартам (ARP4754, DO-178C и др.), а также сокращает время и затраты на этапах сертификации [1, 2].

Ключевые слова: системный инжиниринг, испытательный стенд, узкофюзеляжный самолет, «железная птица», «электронная птица», АНР, MBSE, SysML, приоритизация требований.

Введение

Для современных узкофюзеляжных самолётов особое значение приобретают интегрированные испытательные стенды, которые позволяют проверять взаимодействие аппаратных и программных модулей в условиях, близких к реальным. В отечественной практике подобные стенды получили название «железная птица» и «электронная птица». Например, при разработке нового пассажирского лайнера создан стенд «Железная птица» с реальными ими-

таторами оперения и механизмов, что значительно ускоряет процесс испытаний и повышает безопасность летных образцов [3]. Это подтверждается зарубежным опытом: корпорация Boeing ещё в 1960-х годах начала применять интеграционные стенды (Integration Test Vehicle) и отмечала значительную экономию времени и средств при сертификации новых самолётов [2]. Аналогичный подход успешно используется и в современных проектах: он позволяет обнаруживать и отрабатывать сложные отказные ситуации, недоступные при полётных испытаниях [1].

Известно, что классические методы раздельного тестирования аппаратных и программных компонентов не обеспечивают должного уровня достоверности и полноты интеграционных проверок. Для решения этой проблемы необходимо перейти к созданию комплексных стендов, объединяющих реальные агрегаты и программные модели в единой среде полунатурного моделирования. Цель настоящей работы — разработка облика такого комплексного стенда испытаний гидроагрегатов и бортового оборудования современного узкофюзеляжного самолёта с учётом системного подхода и современных стандартов авиастроения (ARP4754, DO-178C, DO-254 и др.) [4, 5]. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- Системный анализ существующих методов испытаний авиатехники и выявление их ограничений.
- Формирование и формализация требований к стенду (комбинация общих требований безопасности и специфичных требований к моделированию).
- Приоритезация требований с использованием экспертной оценки и метода анализа иерархий (АНР).
- Определение основных функций стенда, необходимых для комплексного тестирования.
- Разработка нескольких вариантов технических решений стенда с учетом модульности, масштабируемости и цифровизации.
- Сравнение предложенных вариантов по критериям эффективности и выбор оптимального решения.

Научная новизна заключается в определении новых функций обеспечивающих выполнение требований к испытательному стенду для современных узкофюзеляжных самолётов, применения комплексный системный подход и MBSE-методы. Предлагается интеграционные технические решения, сочетающая реальные гидравлические стенды с цифровыми моделями и высокоскоростной системой обмена данными. В работе разработаны аналитические таблицы приоритетов требований, сравнительный анализ архитектурных вариантов и соответствие функций стенда его техническим элементам, что обеспечивает полное раскрытие исследуемой проблемы.

Методы

Для решения поставленных задач использовались проверенные в авиастроении методы системного инжиниринга: функциональный анализ и QFD/HoQ (развертывание функций качества), формализация и моделирование в SysML с подходом MBSE, а также приоритезация требований методом анализа иерархий (АНР) [5]. Сначала были собраны требования от заказчика, сертификационных органов и конструкторского бюро. Общие требования (например, соответствие авиационным нормам безопасности) и частные требования (точность моделирования, интеграция «электронной» и «железной» частей и т. д.) оформлены в «Доме качества» (QFD) для системного сопоставления целей и характеристик. Затем требо-

вания формализовались с помощью SysML: построены диаграммы требований, варианты использования и структурные диаграммы облика стенда.

Далее проведена приоритезация требований: использован метод АНР, позволяющий разбить задачу на иерархическую структуру критериев, выполнить попарное сравнение требований по значимости и получить весовые коэффициенты на основе экспертной оценки. В таблице требований (см. табл. 1) приведены полученные веса и приоритеты для ключевых требований стенда. Наконец, на основе приоритезированных требований сформулированы функции стенда и выделены технические элементы. Несколько вариантов технических решений описаны словами; они сравнены по выбранным критериям (см. табл. 2). Для оценки использовался балльный метод (по шкале 1–5, где 5 — наилучший показатель) по подходу Гермейера к мультикритериальному анализу.

Верификация моделей и решений выполнялась с помощью прототипирования (например, HiL-имитаций) и экспертов из отрасли. Измерялись основные метрики: погрешность моделирования, время реакции системы, способность идентифицировать нештатные ситуации, скорость конфигурации стенда и т. д. Эти методы позволили корректировать облик стенда до соответствия всем целевым требованиям.

Результаты

В результате проведённого системного анализа были выделены следующие ключевые функции комплексного стенда: проведение статических и динамических испытаний гидроагрегатов под нагрузкой, проверка исполнительных механизмов и систем управления, воспроизведение реальных режимов работы бортового оборудования, мониторинг параметров (давление, температура, расход), интеграция физического оборудования с его виртуальными моделями и регистрация/анализ результатов испытаний. На основе этих функций сформирована функциональная иерархия стенда. Также выделены основные требования к стенду, которые затем были приоритизированы экспертами и с помощью АНР (табл. 1).

На основе этих приоритетов определены основные требования: обеспечение высокой точности и достоверности, модульности и масштабируемости, а также эффективной автоматизации.

Далее рассмотрены три варианта реализации стенда, отличающиеся конфигурацией нагрузки, степенью цифровизации и балансом «железной» и «электронной» частей (табл. 2). Для сравнения выбраны критерии: **точность моделирования, масштабируемость/модульность, гибкость управления и интеграция с бортовыми системами, уровень автоматизации, возможности обработки и хранения данных, степень цифровизации**. Каждому варианту поставлены оценки от 1 до 5 (чем выше, тем лучше).

Таблица 1. Приоритезация требований к испытательному стенду (по АНР / эксперты)

№	Требование	Категория	Вес	Приоритет	Обоснование
T1	Соответствие нормам авиационной безопасности (ГОСТ РВ 15.203–2001, АП-25 и др.)	Общее	0,18	1	Без сертификации Росавиации стенд не допускается к эксплуатации
T2	Интеграция аппаратной и программной частей	Частное	0,15	2	Обеспечивает комплексную отработку сценариев и сокращает время испытаний
T3	Надёжность и отказоустойчивость системы	Общее	0,14	3	Критично для моделирования аварийных режимов и защиты оборудования
T4	Точность моделирования гидроагрегатов и бортовых систем	Частное	0,13	4	Погрешность >2–5 % может привести к неверным выводам и рискам на этапах сертификации
T5	Автоматизация тестирования и анализ результатов	Частное	0,10	5	Сокращает время испытаний и минимизирует влияние человеческого фактора
T6	Совместимость с международными стандартами (ARP4754, DO-178C, DO-254)	Общее	0,10	6	Требуется для возможности экспорта систем самолёта и соответствия современным отраслевым нормам
T7	Быстрая переналадка стенда под разные конфигурации самолёта	Частное	0,10	7	Позволяет адаптировать стенд под различные модификации самолёта без значительных задержек
T8	Масштабируемость и модульность стенда (готовность к будущим модификациям)	Частное	0,10	8	Обеспечивает лёгкое добавление новых модулей и поддержку систем следующего поколения

Таблица 2. Сравнение вариантов технических решений испытательного стенда

Вариант	Точность	Масштабируемость	Интеграция	Автоматизация	Обработка данных	Цифровизация	Сумма баллов
1. Раздельные стенды (классический подход)	3	2	2	2	3	2	14
2. Интегрированный аппаратно-программный стенд	5	4	5	4	5	4	27
3. Виртуальный/цифровой стенд (digital twin)	3	5	4	5	4	5	26

Из табл. 2 видно, что интегрированный вариант «железная птица + электронная птица» (Вариант 2) получает наибольшую суммарную оценку. Он сочетает высокую точность и полный охват сценариев (благодаря реальному оборудованию), при этом поддерживает модульные технические решения с современными цифровыми датчиками и ПО сбора данных. Вариант 3 (цифровой стенд с упором на цифровые двойники) отличается более высокой масштабируемостью и автоматизацией, но уступает по точности моделирования чисто виртуальных моделей. Классический подход (Вариант 1) хотя и прост в реализации, обеспечивает низкую интеграцию и автоматизацию. Таким образом, оптимальным признан Вариант 2, который далее уточнялся при детализации архитектуры.

Наконец, сопоставление функций стенда с конкретными техническими средствами приведено в табл. 3.

Каждая функция обеспечивается набором инженерного оборудования и программного обеспечения. Например, испытания гидроагрегатов выполняются на силовых стендах с реальными насосами и регуляторами; симуляция бортовых режимов — программным обеспечением (Matlab/Simulink, цифровыми двойниками); мониторинг — сетью промышленных шин и системой сбора данных SCADA; интеграция — протоколами CAN, ARINC и синхронизацией сигналов, а регистрация — SQL-серверами и аналитическим ПО.

Сравнение результатов исследования с литературными данными показывает, что выбранные нами методы проектирования востребованы в современной авиации. Традиционно в сложных авиационных проектах широко применяется MBSE (SysML) для единообразного представления требований и облика. Использование АНР для приоритезации также обосновано: этот метод позволяет экспертам

Таблица 3. Функции стенда и соответствующие технические элементы

Требования	Функция стенда	Технические элементы решения
T4	Испытание гидроагрегатов под нагрузкой	Гидравлические стенды и насосные станции с регуляторами давления; силовые балки, имитаторы нагрузок
T4	Испытания исполнительных механизмов (приводов)	Приводные стенды с механическими нагрузками; контроллеры ЭДСУ
T4	Воспроизведение эксплуатационных режимов бортового оборудования	Реальное время/Matlab-Simulink; цифровые двойники агрегатов и систем; запуск сценариев использования агрегатов
T8	Мониторинг параметров (давление, температура, расход и др.)	Комплект датчиков (давления, расхода, температуры, перемещений); модули сбора данных (DAQ) на базе PXI- или PCIE-шасси; промышленные контроллеры (ПЛК) и SCADA-системы (WinCC, LabVIEW)
T2	Интеграция физического оборудования с виртуальными моделями	Системы связи CAN, ARINC-429, Ethernet; синхронизаторы сигналов времени (GPS/PTP); интерфейсы HIL
T5	Регистрация, анализ и обработка результатов испытаний	Серверы баз данных (SQL); ПО анализа и визуализации (например, LIMS, MATLAB, Python); отчетное ПО
T7	Адаптивная реконфигурация стенда под различные типы агрегатов без изменения базовых узлов	Быстросъемные унифицированные интерфейсы; модульные рамы и силовые каркасы; конфигурационное ПО для автоматической перенастройки измерительных каналов и управляющих алгоритмов
T2,T8	Цифровая подсистема валидации сценариев испытаний (самопроверка корректности режимов перед запуском)	Предварительный прогон сценария на математической модели; система автоматической проверки предельных параметров и корректности команд; генератор отчетов о готовности к проведению натурного эксперимента
T5,T8	Интеграция стенда с лабораторной информационной системой (ЛИС)	Промежуточное ПО и API-шлюзы для обмена данными; стандартизированные протоколы обмена (REST API, OPC); коннекторы для интеграции с LIMS и PLM-системами (Teamcenter)

объективно ранжировать требования и последовательно формировать весовые коэффициенты. [3]

Выбранный интегрированный вариант архитектуры обеспечивает принципиально новый уровень испытаний за счёт одновременного тестирования физических систем и их виртуальных аналогов в синхронизированной среде. Такой подход позволяет отрабатывать критические и аварийные сценарии на реальном оборудовании без рисков для летательного аппарата, что многократно повышает достоверность и обоснованность получаемых результатов. Гибкая цифровая платформа управления на базе ПЛК и SCADA-систем в связке с разветвлённой сетью сбора данных обеспечивает не только автоматизацию испытаний, но и комплексную обработку информации.

Важнейшим преимуществом разработанного облика стенда является его способность к адаптивной реконфигурации для работы с различными типами агрегатов без изменения базовых узлов. Это достигается за счёт модульной конструкции с унифицированными интерфейсами и специализированного конфигурационного программного обеспечения, что кардинально сокращает время переналадки и расширяет номенклатуру тестируемых объектов. Безопасность и обоснованность каждого эксперимента гарантируется встроенной цифровой подсистемой валидации, которая выполняет предварительную самопроверку корректности режимов и сценариев

на математической модели системы перед их применением к физическому оборудованию.

Для обеспечения сквозной цифровизации испытательного процесса стенд глубоко интегрирован с лабораторной информационной системой предприятия (ЛИС). Эта интеграция создаёт единое информационное пространство, обеспечивая автоматическое архивирование данных, их статистический анализ и формирование регламентированной отчётности. В результате формируется замкнутый жизненный цикл данных, характеризующийся полной прослеживаемостью, неизменяемостью протоколов испытаний и их соответствием строгим требованиям сертификационных органов.

Такие комплексные стенды особенно эффективны при внедрении электро дистанционных систем управления (ЭДСУ), которые требуют высокой точности и надёжности взаимодействия компонентов. Наш облик учитывает эту тенденцию: мы используем реальные гидросистемы с полным комплектом датчиков и цифровых протоколов связи (ARINC, MIL-STD-1553B, AFDX), что соответствует практике ведущих авиастроителей.

Ограничения работы связаны с тем, что сравнение технических вариантов выполнено на экспертных оценках, а не на полном моделировании всех сценариев. В дальнейшем целесообразно провести программно-аппаратную реализацию прототипа и экспериментально проверить ключевые параметры (точность моделирования,

время реакции, совместимость модулей). Также требуются тесты на отказоустойчивость и верификация по данным реальных полётных испытаний. Тем не менее приведённые таблицы и анализ позволяют сделать обоснованный выбор конфигурации стенда для современного узкофюзеляжного самолёта.

Заключение

В представленной работе разработан и обоснован системно-инжиниринговый подход к созданию архитектуры комплексного испытательного стенда для гидроагрегатов и бортового оборудования перспективных узкофюзеляжных самолётов. Ключевым результатом является синтезированный облик стенда, представляющий собой глубоко интегрированную платформу, объединяющую физические и цифровые компоненты в единую среду полунатурного моделирования.

Последовательное применение методологии MBSE на всех этапах проектирования позволило обеспечить це-

лостность и трассируемость проектных решений. Разработанная архитектура реализует принципиально новые функции, включая адаптивную реконфигурацию для испытания различных типов агрегатов, встроенную цифровую подсистему валидации сценариев и глубокую интеграцию с лабораторной информационной системой предприятия.

Практическая значимость работы подкрепляется реализуемостью предложенного решения на базе существующих технологий, включая модульные гидравлические стенды, программируемые логические контроллеры и платформы для создания цифровых двойников. Найденные решения в будущем должны составить основу конструкции различных стендов.

Таким образом, внедрение разработанного стенда позволит существенно сократить сроки и затраты на проведение испытаний и сертификации новых модификаций самолётов, минимизировать технические риски и создать основу для сквозной цифровизации процессов валидации бортовых систем в авиастроении.

Литература:

1. Engineering Embedded Software: From Application Modeling to Software Synthesis. / Ferreira, R. 1, L. Brisolar, J. C. Mattos [и др.]. — Текст: непосредственный // Hershey: IGI Global. — 2009. — № 1. — С. 24.
2. Efficient Driving Plan and Validation of Aircraft NLG Emergency Extension System via Mixture of Reliability Models and Test Bench / Чжу 2, Ю. Фэн, Ч. Лю, Ц. Фэй. — Текст: непосредственный // Applied Sciences. — 2019. — Vol.9, № 17. — С. 3578.
3. Ky, C. Influencing factors of low-altitude unmanned aircraft navigation using AHP / C. Ky, X. Ан, Д. Ли. — Текст: непосредственный // International Journal of Advanced Culture Technology. — 2020. — № Vol. 8, № 1. — С. 173–181.
4. Ин, Ю. Fault Analysis and Solution of an Airplane Nose Landing Gear's Emergency Lowering / Ю. Ин, X. Ние, С, X, и Вэй. — Текст: непосредственный // Journal of Aircraft. — 2016. — № Vol. 53, № 3. — С. 1022–1032.
5. Реконфигурация систем управления воздушных судов / Желтов, С. 5, И. А. Каляев, В. В. Косьянчук [и др.]. — Москва: РАН, 2021. — 204 с. — Текст: непосредственный.
6. Сыпало, К. И. Моделирование процессов функционирования интегрированных систем ЛА на основе методологии ОО-проектирования / К. И. Сыпало, К. К. Веремеенко, Д. А. Козорез. — Москва: МАИ-Print, 2020. — 93 с. — Текст: непосредственный.

Влияние человеческого фактора на систему управления безопасностью полетов при управлении воздушным движением

Лысенко Максим Дмитриевич, курсант;

Савлюков Иван Александрович, курсант

Научный руководитель: Кравчук Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», филиал в г. Челябинске

В статье рассматривается роль человеческого фактора в системе управления безопасностью полетов (СУБП) при управлении воздушным движением. Проведен анализ ключевых аспектов влияния человеческих ошибок на безопасность полетов, определены основные причины инцидентов, связанных с деятельностью диспетчеров органов ОВД. Обоснована необходимость интеграции принципов культуры безопасности и методов управления человеческими рисками в функционирование СУБП. Приведены направления совершенствования подготовки и психологического сопровождения диспетчеров.

Ключевые слова: безопасность полетов, управление воздушным движением, человеческий фактор, культура безопасности, СУБП.

The human factor in the air traffic control flight safety management system

This article addresses the role of the human factor within the Flight Safety Management System (SMS) for air traffic control. It analyzes key aspects of how human error impacts flight safety and identifies the root causes of incidents associated with air traffic controller performance. The paper justifies the need to integrate safety culture principles and human risk management methods into the SMS framework. Furthermore, it outlines potential areas for enhancing controller training and psychological support.

Keywords: flight safety, air traffic management, human factor, safety culture, SMS.

Введение. Современная система управления воздушным движением (ОВД) представляет собой сложный человеко-машинный комплекс, в котором эффективность и надежность функционирования напрямую зависят от деятельности диспетчеров. По оценкам ИКАО, до 70 % авиационных происшествий и инцидентов связаны с проявлением человеческого фактора. Несмотря на высокий уровень автоматизации, именно человек остается центральным звеном, обеспечивающим безопасность полетов.

Согласно положениям ИКАО (Annex 19 и Doc 9859), эффективное управление безопасностью полетов невозможно без учета человеческого фактора как одного из ключевых источников риска. В связи с этим актуальной задачей становится интеграция системного анализа человеческих ошибок в процессы планирования, мониторинга и совершенствования СУБП.

Основные понятия, используемые при исследовании человеческого фактора в авиационной деятельности. Под человеческим фактором понимается совокупность психофизиологических, когнитивных и социальных характеристик человека, влияющих на выполнение им профессиональных обязанностей. В авиации данное понятие охватывает все аспекты взаимодействия персонала с техникой, окружающей средой и другими участниками полетной деятельности. Модель Дж. Ризона («модель швейцарского сыра») рассматривает происшествие как следствие сочетания активных ошибок и скрытых условий, связанных с организацией труда.

В диспетчерской деятельности это проявляется через ошибки восприятия, неправильную оценку обстановки, неэффективное распределение внимания и нарушение процедур взаимодействия. Система классификации HFACS (Human factors analysis and classification system) позволяет структурировать ошибки диспетчеров по уровням: индивидуальные действия, условия труда, надзор и организационные факторы. Такой подход облегчает выявление системных причин и выработку превентивных мер.

Проявления человеческого фактора в управлении воздушным движением. Диспетчер управления воздушным движением работает в условиях высокой динамики и когнитивной нагрузки. Основными причинами ошибок в деятельности операторов являются усталость, стресс, ошибки восприятия, коммуникативные сбои и недостаточная тренировка навыков ситуационного осознания.

Анализ инцидентов показывает, что даже при наличии современных автоматизированных систем наблюдения и предупреждения, человеческий фактор остается критическим звеном. Причиной инцидентов часто становятся не индивидуальные ошибки, а сочетание организационных и человеческих факторов — несогласованность смен, нечеткое распределение обязанностей, недостаточная культура отчетности.

Управление человеческим фактором в системе управления безопасностью полетов (далее — СУБП). Современная концепция СУБП предполагает переход от реактивного к проактивному и предсказательному управлению рисками. В этом контексте человеческий фактор рассматривается не как источник ошибок, а как элемент, требующий системной поддержки и мониторинга. В практике органов ОВД используются направления управления человеческим фактором: психофизиологический контроль, тренинги по CRM, внедрение принципа «справедливой культуры» и психологическое сопровождение персонала.

Кроме того, совершенствование системы управления человеческим фактором в деятельности органов ОВД должно включать: развитие аналитических инструментов и цифровых технологий предсказания ошибок, развитие корпоративной культуры безопасности и доверия, внедрение механизмов индивидуального и командного психологического сопровождения, системное обучение и повышение компетенций по управлению человеческим фактором. Интеграция этих элементов в структуру СУБП позволяет не только снижать уровень ошибок, но и формировать устойчивую корпоративную культуру безопасности.

Совершенствование учета человеческого фактора в органах ОВД. Для повышения эффективности управления безопасностью полетов целесообразно развивать: внедрение систем мониторинга данных об ошибках с использованием ИИ, разработку показателей эффективности, введение психологических индикаторов в процедуры оценки надежности и укрепление культуры безопасности. В современных условиях особую значимость приобретают проактивные и предсказательные методы анализа человеческого фактора. Их внедрение возможно через использование систем сбора и анализа данных о поведении операторов (Human Performance Monitoring), применение аналитики больших данных для выявления скрытых закономерностей и раннего предупреждения рисков, внедрение программ управления уста-

лостью и когнитивной нагрузкой (Fatigue Risk Management System). Эти меры обеспечивают глубокую интеграцию человеческого фактора в процессы СУБП.

Заключение. Человеческий фактор остаётся одним из ключевых и наиболее сложных элементов системы обеспечения безопасности полетов при управлении воздушным движением. Его влияние проявляется на всех уровнях — от индивидуальных действий диспетчера до организационных решений. Несмотря на развитие технологий и автоматизацию процессов, именно человек продолжает играть решающую роль в предотвращении авиационных происшествий и в обеспечении устойчивости системы ОВД.

Проведённый анализ показал, что значительная доля инцидентов связана с ошибками восприятия, стрессом, усталостью, нарушением коммуникации и организационными несоответствиями. Это указывает на необходимость не только технического, но и поведенческого подхода к управлению безопасностью. СУБП должна рассматривать человеческий фактор не как источник ошибок,

а как динамический элемент, требующий постоянной поддержки, обучения и мониторинга.

Важным направлением повышения безопасности является формирование культуры безопасности на всех уровнях организации. Практика показывает, что даже при высоком уровне подготовки персонала отсутствие доверительной среды и эффективной коммуникации может снижать эффективность СУБП. Поэтому приоритетными задачами являются развитие психологической готовности, формирование навыков ситуационного осознания, а также внедрение программ наставничества и регулярной оценки профессиональной надёжности.

Комплексная реализация данных мер позволит не только снизить риск авиационных инцидентов, но и повысить общую устойчивость системы управления воздушным движением. Управление человеческим фактором становится стратегическим направлением развития авиационной безопасности, определяющим эффективность функционирования всей авиационной отрасли в будущем.

Литература:

1. ICAO Doc 9859. Safety Management Manual. 4th ed. — Montréal: ICAO, 2018.
2. ICAO Annex 19. Safety Management. — Montréal: ICAO, 2013.
3. Reason J. Human Error. — Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
4. Shappell S., Wiegmann D. The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). — Washington, DC: FAA, 2000.
5. EUROCONTROL. Human Factors Case Studies. — Brussels, 2020.
6. EASA. Human Performance in Air Traffic Management. — Cologne, 2021.
7. Карпов В. А. Управление безопасностью полетов: современные подходы. — М.: Воздушный транспорт, 2022.
8. Рудельсон, Л. Е. Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением: учебное пособие: в 2-х частях
9. Рудельсон Л. Е. часть 2. Функциональное программное обеспечение; МГТУ ГА, 2005. -96с
10. Учебное пособие для вузов «Автоматизированные системы управления воздушным движением», Санкт-Петербург, 2014г, с 147.

Характеристики аккумулятора для высокоскоростной передачи данных

Петров Артем Викторович, студент магистратуры

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске

Ключевым компонентом, способствующим успеху электромобилей, является тяговая аккумуляторная батарея автомобиля и ее функциональная безопасность. Важно контролировать весь аккумуляторный блок, а также каждый отдельный литий-ионный элемент, поскольку неблагоприятные условия эксплуатации электромобиля могут привести к сбоям, которые необходимо очень быстро обнаруживать. Важными факторами стресса являются вибрации, механические удары, большие токи и экстремальные температуры. Таким образом, за элементами осуществляется контроль в отношении их напряжения, тока, температуры и полного сопротивления, что является частью системы управления аккумуляторами (BMS). С помощью электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИСС) можно определить комплексное значение импеданса элемента в зависимости от частоты, что является хорошим показателем внутренней температуры элемента, уровня заряда (SoC) и состояния элемента (SoH). Кроме того, сравнение импеданса аккумуляторной батареи с импедансом отдельного элемента может выявить предстоящие проблемы с высоким контактным сопротивлением.

Для снижения погрешности измерения импеданса мониторинг отдельных элементов должен проводиться в непосредственной близости от них. Следовательно, управляющая электроника должна быть размещена как можно ближе к эле-

менту. Поскольку тяговая батарея состоит из сотен отдельных элементов, а данные мониторинга необходимо передавать в центральный блок управления электропитанием (ECU) для обработки, требуется большое количество проводов для шины связи. Альтернативой обычно используемой последовательной шине [1] является передача высокоскоростных сигналов связи непосредственно по цепи батареи. Для этого привлекательного решения не потребуется никаких дополнительных проводов, поскольку в качестве канала связи используются батареи.

Чтобы ответить на вопрос, осуществим ли этот новый подход, нам нужно больше знать о высокочастотном поведении литий-ионных аккумуляторов. На эту тему опубликовано очень мало материалов, поскольку до сих пор рассматривались только частоты ниже 10 кГц, например в методе эквивалентных схем, поскольку электрохимические процессы не протекают быстрее [2]. Однако для передачи данных мониторинга всех элементов через фиксированные промежутки времени требуется скорость передачи данных не менее 1 Мбит/с. Чтобы спрогнозировать производительность ячейки при такой высокой скорости передачи данных, необходима модель электрической эквивалентной схемы (ЭЭС) с высокой пропускной способностью (рис. 1).

Первым шагом для получения модели ЕЭС является характеристика ячейки. Мы сделали это, измерив полное сопротивление ячейки на частоте до 300 МГц с использованием метода двухпортового VNA с шунтированием [3]. Этот метод очень подходит для низких значений импеданса [4], что характерно для аккумуляторных элементов. Как показано на рисунке 1, порт 1 служит источником тока, а порт 2 измеряет напряжение на элементе. Поскольку сопротивление ячейки очень низкое, большая часть мощности падающего сигнала будет отражаться обратно в порт 1, что приведёт к тому, что S_{11} будет близко к отрицательному значению. Небольшая часть сигнала будет передаваться в порт 2 и даст ценную информацию об импедансе ячейки в соответствии с характеристическим сопротивлением Z_0 , которое в нашем случае составляет 50 Ом. Блоки постоянного тока на рисунке 1 добавлены для предотвращения протекания постоянного тока через порты векторного анализатора цепей.

$$Z_{cell} = \frac{1}{2} Z_0 \cdot S_{21} / (1 - S_{21}) , \quad (1)$$

Сложность заключается в подключении аккумуляторной батареи к векторному анализатору цепей на основе разъема SMA. Соединение должно быть механически и электрически стабильным, чтобы можно было проводить калибровку. Для этого мы разработали двухслойную печатную плату (ПП) для крепления батареи, как показано на рисунке 2. На верхнем слое платы расположены две микрополосковые линии, соединяющие положительную клемму аккумулятора с внутренними проводниками SMA, а на нижнем слое — сигнальная обратная плоскость, которая соединяет отрицательную клемму элемента питания с сигнальным обратным проводником SMA. Штекеры SMA подключаются к портам векторного анализатора цепей через блоки постоянного тока. Сам элемент питания помещается в вырез печатной платы, а контакты припаиваются.

Распределение тока на плате было смоделировано с помощью CST Microwave Studio и показано на рисунке 2. Плотность тока наиболее высока по краям выреза в печатной плате, что обеспечивает наименьшую индуктивность контура.

Извлечение импеданса ячейки

После калибровки VNA методом SOLT (short, open, load, through) эталонная плоскость измерения располагается на двух разъемах SMA X1 и X2 прибора. При использовании этой конфигурации измерение импеданса приведет к получению “общего импеданса контура” прибора и элемента вместе. Модель без встраивания на рисунке 3 показывает, как составляется этот общий импеданс контура. Он содержит ячейку R и частичной самоиндукции L , которые моделируют ячейку для процедуры деинсталляции с достаточной точностью. Кроме того, он содержит обратный путь сиг-

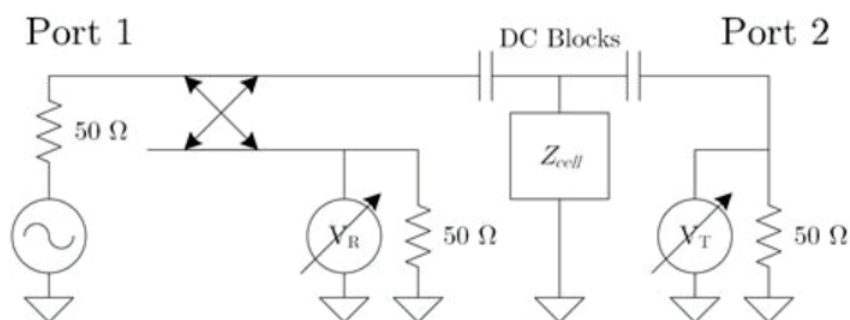


Рис. 1. Настройка для метода VNA с шунтированием

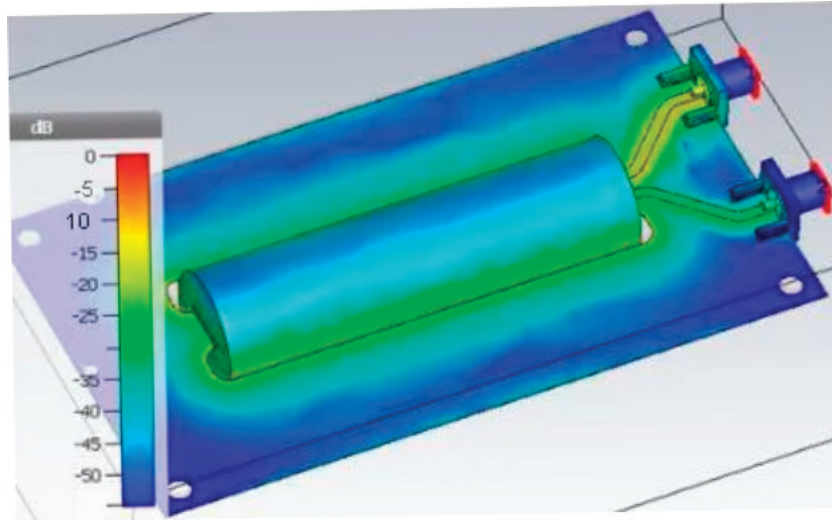


Рис. 2. Нормализованное распределение тока на устройстве при возбуждении на частоте 100 МГц в верхнем порту

нала, который моделируется сопротивлением R_{return} и собственной частичной индуктивностью L_{return} и включается дважды, поскольку ток может возвращаться как справа, так и слева от ячейки. Взаимные индуктивности M_{CR} учитывают индуктивную связь между ячейкой и обратным путём сигнала, а элементы L_{TL} и C_{TL} моделируют линии передачи. Линии передачи компенсируются с помощью процедур расширения портов, предоставляемых VNA. Таким образом, результирующее эффективное значение импеданса контура Z_{loop} , полученное на основе рисунка 3, составляет

$$Z_{\text{loop}} = R_{\text{cell}} + j\omega(L_{\text{cell}} - M_{CR}) + R_{\text{return}}/2 + j\omega(L_{\text{return}}/2 - M_{CR}). \quad (2)$$

Чтобы исключить влияние прибора на результаты измерений, импеданс ячейки должен быть отключен от (2). Это получается путем вычета эффектов паразитного закрепления, смоделированных с помощью $R_{\text{возврата}}$, $L_{\text{поворота}}$ и M_{CR} , из (2). Поскольку мы не знаем точных значений этих элементов, мы осуществили устранение встраивания путем измерения аналитически известного опорного импеданса, который представляет собой сплошной медный цилиндр тех же размеров, что и элемент. Во втором измерении будут присутствовать те же паразитные элементы, поэтому при вычитании результатов двух измерений друг из друга паразитные элементы будут компенсированы.

$$Z_{\text{cell}} := R_{\text{cell}} + j\omega L_{\text{cell}} = Z_{\text{loop1}} - Z_{\text{loop2}} + R_{Cu} + j\omega L_{Cu}. \quad (3)$$

Как видно из (3), нам нужно знать сопротивление R_{Cu} и собственную индуктивность L_{Cu} медного цилиндра.

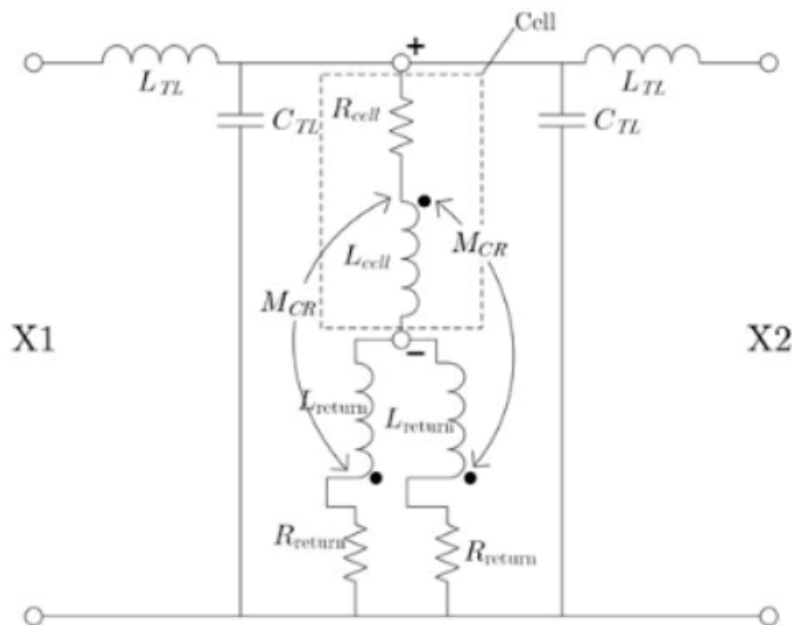


Рис. 3. Модель удаления встраивания при изменении импеданса

Разумеется, в этих элементах учитывается скин-эффект, поэтому они зависят от частоты. На низких частотах измеренный импеданс медного цилиндра был значительно выше импеданса, смоделированного в 3D, что указывает на токи в оболочке. Это отклонение в измерениях можно устранить, обернув коаксиальные кабели ферритовыми сердечниками.

Результаты измерения импеданса и выводы

Ячейка и медный цилиндр были установлены на приборе и охарактеризованы с помощью представленного метода двухпортового векторного анализа цепей. Результаты измерения импеданса ячейки как в приборе, так и без него показаны на рисунке 4. Кроме того, с помощью метода наименьших квадратов (МНК) к результатам без прибора была подобрана простая модель ЕЕС. На низких частотах сопротивление элемента составляет всего 40 мОм, но на высоких частотах оно увеличивается до 40 Ом в основном из-за индуктивного сопротивления. Следовательно, несмотря на то, что сопротивление батареи очень низкое, на высоких частотах мы столкнёмся с меньшими проблемами при передаче высокоскоростных сигналов по цепочке батарей, поскольку их индуктивное поведение создаёт достаточно высокое сопротивление. Независимо от этих результатов, основной проблемой при передаче данных по линии питания от аккумулятора является электромагнитная совместимость, которая проявляется в двух аспектах: во-первых, связь очень чувствительна к импульсным помехам, создаваемым силовой электроникой. Эту проблему можно решить с помощью методов расширения спектра, таких как скачкообразная перестройка частоты. Во-вторых, при передаче данных возникает дополнительное электромагнитное излучение, которое может превышать допустимые нормы, поскольку аккумуляторная батарея не всегда экранирована. Эти проблемы требуют дальнейшего изучения в рамках будущей работы.

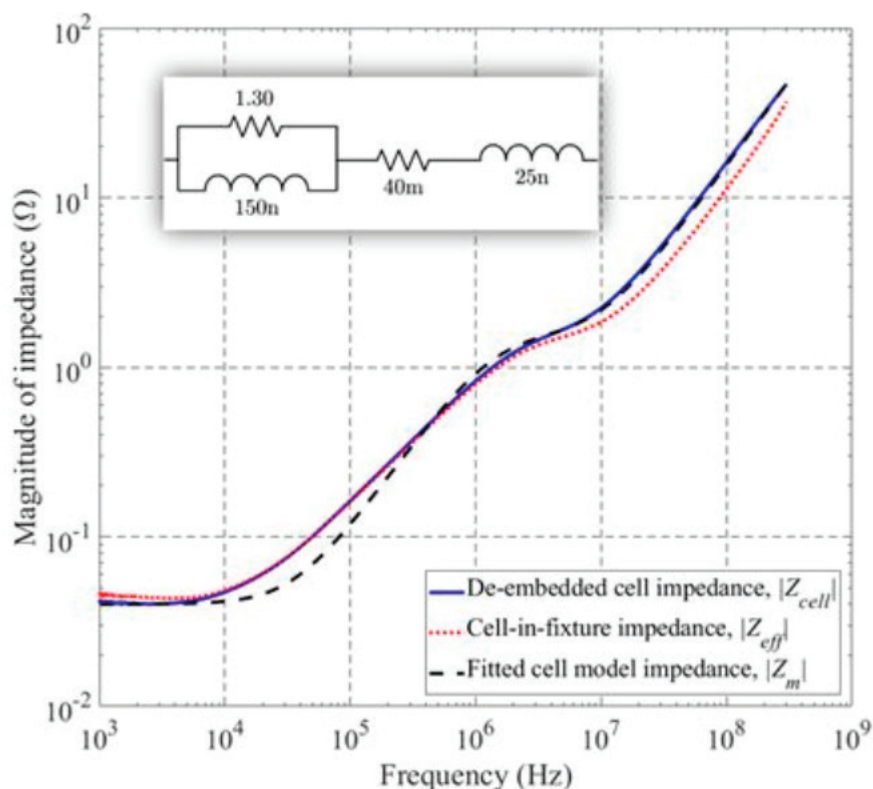


Рис. 4. Величина импеданса измеренного, извлеченного и смоделированного импеданса ячейки

Литература:

1. Хонг Х., Севильяно Х., Кейн К., Хофер Г. и др., «Альтернативы в протоколах связи для аккумуляторных батарей», технический документ SAE 2017-01-1212, 2017.
2. Э. Барсуков и Дж. Р. Макдональд, ред., «Импедансная спектроскопия: теория, эксперимент и применение», John Wiley & Sons Inc., Хобокен, Нью-Джерси, 2005.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

3Dпечать дорожных покрытий: перспективы и первые кейсы

Гузеева Валерия Юрьевна, студент

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова

В эпоху стремительной урбанизации и роста числа транспортных средств дорожная инфраструктура сталкивается с серьёзными проблемами, которые сложно решить традиционными способами. Покрытия быстро изнашиваются, ремонт занимает много времени, расходы из бюджета на строительство и ремонт дорог остаются высокими, а воздействие на окружающую среду — ощутимым. В этих условиях 3Dпечать дорожных покрытий выглядит не фантастической идеей, а реальным решением, способным изменить отрасль. Технология обещает заметно сократить сроки укладки, снизить себестоимость работ и открыть путь к созданию «умных» дорог будущего. В этой статье мы разберём, как работает эта инновация, где уже прошли первые испытания и какие возможности она открывает для строителей и городов. [1].

3Dпечать в дорожном строительстве — это не просто перенос офисной технологии на стройплощадку, а принципиально новый подход к созданию покрытий. Суть метода в послойном нанесении специальных смесей под точным компьютерным контролем, что полностью меняет привычную логику укладки дорог. Процесс начинается со сканирования и моделирования: с помощью лидаров и дронов создаётся цифровая 3Dмодель участка, а программное обеспечение рассчитывает оптимальную геометрию покрытия, включая уклоны и дренажные каналы. Далее идёт подготовка смеси — используются модифицированные бетоны, полимерные композиты или асфальтобетонные составы, которые быстро затвердевают. В некоторых системах, например Advanced Paving Tech, смесь подаётся в принтер прямо с асфальтобетонного завода [1,2].

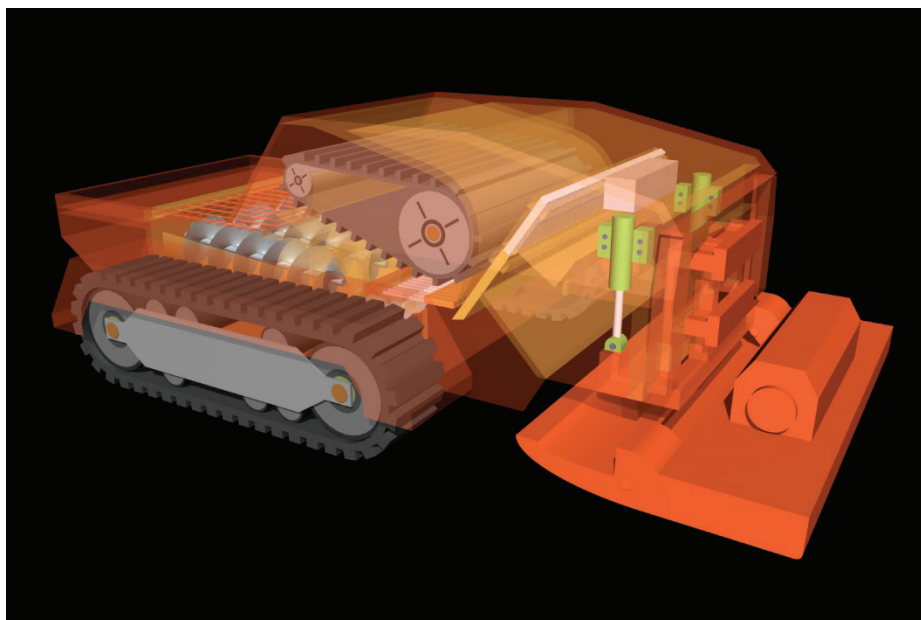


Рис. 1. Принтер-асфальтоукладчик Advanced Paving Tech (США)

На этапе печати мобильный принтер перемещается по направляющим или на гусеничном ходу и наносит материал слоями толщиной от 2 до 10 см через экструдер с компьютерным контролем подачи. Каждый слой уплот-

няется валковым механизмом или вибрацией [3]. Завершается процесс финишной обработки: поверхность выравнивают и шлифуют, а при необходимости наносят защитное покрытие.

Есть разные образцы оборудования, приближающиеся к серийному производству. Так, американский принтерасфальтоукладчик Advanced Paving Tech оснащён лидаром: он сканирует выбоины, моделирует заполнение и укладывает асфальт без предварительной подготовки участка. По данным разработчиков, такое решение увеличивает срок службы покрытия на 20–30 % благодаря плотной укладке. RoadPrinter ECO — это аккумуляторный укладчик брус-

чатки, который работает без генераторов, снижает шум и выбросы CO₂. Он способен уложить полосу шириной до 6 м за один проход, сокращая трудозатраты в 4 раза по сравнению с ручной кладкой [2,3]. Китайская компания Winsun использует крупногабаритные принтеры для монолитных конструкций: например, при укреплении берега в Сучжоу печать стены длиной 500 м заняла на 40 % меньше времени, чем при использовании традиционных методов.



Рис. 2. «Великая» стена в Китае

Что касается материалов, то применяются разные составы. Бетон с полимерными добавками отличается высокой прочностью и устойчивостью к трещинам — такой подход реализован в американском проекте Infinite Build, где покрытие назвали «бессмертным» из-за слоистой структуры. Переработанный асфальт позволяет снизить себестоимость и уменьшить экологический след; такие смеси уже тестируют в пилотных проектах в ЕС. Композиты с волокнистым армированием повышают износостойкость — исследования University of California, Davis показали, что срок службы покрытия растёт на 15–25 % [4].

У 3Дпечати есть явные преимущества перед традиционными методами. В первую очередь, скорость: 1 км двухполосной дороги можно напечатать за 24–48 часов, тогда как классические способы требуют нескольких недель. Во-вторых, точность: отклонение от проекта составляет менее 2 мм на 10 м, а при ручной укладке — 10–15 мм. В-третьих, экономия материалов: за счёт дозированного нанесения отходов становится меньше на 10–15 %. В-четвёртых, безопасность: на проезжей части работает минимум людей, так как оператор управляет процессом дистанционно.

Таким образом, 3Дпечать дорог — это не замена асфальта бетоном, а новый принцип строительства: вместо укладки происходит «выращивание» покрытия с заранее

заданными свойствами. Сейчас технология находится на стадии пилотных проектов, но её потенциал очевиден — она позволяет сократить сроки работ, снизить затраты и повысить качество дорожного покрытия [1].

На сегодняшний день 3Дпечать дорожных покрытий — уже не отдалённая перспектива, а реально работающая технология, которая проходит стадию активных испытаний и первых промышленных внедрений. Опыт пилотных проектов показывает: метод способен серьёзно изменить подходы к строительству и ремонту дорог. Прежде всего, сроки работ сокращаются в 2–4 раза. Кроме того, удаётся снизить материальные и трудовые затраты на 20–30 %. Ещё одно преимущество — повышенная точность геометрии покрытия и меньшее число ошибок, связанных с человеческим фактором [3].

Анализ реализованных проектов даёт несколько важных выводов. В первую очередь, технология доказала свою работоспособность в реальных условиях: примеры из Китая, США, Нидерландов и Дании показывают, что её можно применять для разных типов покрытий — от тротуаров до автомагистралей. Во-вторых, экономический эффект достигается за счёт оптимизации расхода материалов, сокращения числа рабочих и уменьшения объёма отходов. В-третьих, экологический потенциал технологии

значителен: использование переработанных компонентов и снижение выбросов при укладке соответствуют целям устойчивого развития [4].

В будущем развитие технологии может пойти по нескольким направлениям. В области материалов и рецептур важно разработать всесезонные смеси с ускоренным затвердеванием для холодных регионов, протестировать биоразлагаемые полимеры и вторичные ресурсы (например, переработанный асфальт и шлаки), а также создать композиты с самовосстанавливающимися свойствами. Что касается оборудования и автоматизации, то здесь актуальны задачи удешевления мобильных принтеров за счёт модульных конструкций, внедрения ИИ для корректировки печати в реальном времени.

Для России перспективно проведение пилотных проектов: можно тестировать технологию на региональных дорогах с высокой нагрузкой, создавать «цифровые полигоны» для отработки ремонта выбоин и трещин, а также

апробировать метод в труднодоступных районах — на Крайнем Севере и в горных территориях [1,3]. Ещё одно направление — интеграция с «умной» инфраструктурой: внедрение сенсоров для мониторинга состояния покрытия, печать проводящих дорожек для индукционной зарядки электротранспорта, создание покрытий с фотокаталитическими свойствами, которые очищают воздух от NO_x.

Подводя итог, можно сказать, что 3Дпечать дорог не является универсальным решением всех проблем, но представляет собой мощный инструмент для дорожной отрасли. Для массового внедрения технологии потребуется 5–10 лет, однако уже сейчас понятно: те, кто начнёт осваивать её сегодня, получают конкурентное преимущество завтра. Для России это шанс сократить отставание в развитии дорожной инфраструктуры, снизить расходы на содержание сетей и выйти на новый уровень экологичности строительства [4].

Литература:

1. Абдуханова Н. Г., Кульков А. А. Организационно-экономический механизм государственно-частного партнерства при реализации лофт-проекта // Российское предпринимательство. — 2017. — № 23. — с. 3837–3846.
2. Гужов В. В. Стратегические направления совершенствования инновационной политики в транспортной отрасли // Транспортное дело России. — 2013. — № 3. — с. 5–8.
3. Дудин М. Н., Толмачев О. М. Практика внедрения инновационных технологий в строительной отрасли // Вопросы инновационной экономики. — 2017. — № 4. — с. 407–416.
4. Рожков В. Л., Зайнуллина Д. Р. Критический анализ перспектив инновационного развития строительной отрасли Республики Татарстан // Российское предпринимательство. — 2016. — № 21. — с. 2911–2922.

МЕДИЦИНА

Профессиональное развитие персонала медицинского вуза: вызовы и решения

Акулина Мария Викторовна, студент магистратуры;
Афони娜 Наталья Александровна, кандидат медицинских наук, доцент
Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова

В статье исследуются трансформации профессионального развития сотрудников российских медицинских вузов. Выявлены главные барьеры — нехватка времени, формальный подход к обучению — и ключевые мотиваторы — поддержка руководства, практическая польза. В статье предложена модель эффективной системы развития, основанная на персонализации, цифровых инструментах и вовлечённости самого вуза.

Ключевые слова: профессиональное развитие, медицинское образование, повышение квалификации.

Введение

Современная медицинская образовательная организация (МОО) функционирует в условиях стремительной трансформации как системы здравоохранения, так и системы высшего образования. Цифровизация, внедрение искусственного интеллекта, новые эпидемиологические угрозы и растущие требования к качеству медицинской помощи требуют от персонала МОО не только высокого уровня клинической и педагогической компетентности, но и способности к непрерывному профессиональному развитию [1].

В условиях реализации национальных проектов «Кадры» и «Образование», а также перехода на обновлённые федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС ВО 3++) в сфере медицинского образования, актуальность системного подхода к развитию кадров становится стратегическим приоритетом [2].

Несмотря на наличие нормативных требований к повышению квалификации (Приказ Минздрава России № 206н), на практике процесс профессионального роста часто носит формальный характер, не учитывает индивидуальные потребности сотрудников и не интегрирован в стратегическое развитие организации [3]. В связи с этим актуальным становится вопрос о разработке эффективных, системных и персонализированных моделей поддержки профессионального развития.

Целью исследования является анализ современных подходов к профессиональному развитию сотрудников МОО, выявление ключевых вызовов и путей их преодоления, опираясь на результаты отечественных исследований и собственные эмпирические данные.

Методология исследования

Оценка текущего состояния профессионального развития сотрудников современной МОО проводилась методами анкетирования (опроса), анализа литературных источников и статистическими методами.

Анализ литературных источников включал в себя изучение и анализ научной литературы, статей, отчетов, исследований и других доступных материалов по теме исследования.

Опрос (анкетирование) является одним из наиболее распространенных методов сбора данных, который позволяет получать информацию от респондентов с помощью стандартных заданных вопросов.

Так, в период с мая по ноябрь 2025 г. было проведено анкетирование сотрудников двух медицинских вузов: РязГМУ им. академика И. П. Павлова (Рязань) и Первого МГМУ им. И. М. Сеченова (Москва). В опросе приняли участие 47 преподавателей-врачей со средним стажем работы 15,4 года.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения STATISTICA 12 и Excel. Доверительный интервал $p \leq 0,95$.

Результаты исследования

Медицинская образовательная организация — это уникальная институциональная форма, сочетающая образовательную, лечебную и научно-исследовательскую деятельность. Сотрудники таких организаций — это не только преподаватели, но и практикующие врачи, научные работники, клинические наставники и администраторы, чья деятельность регулируется как законодательством в сфере образования, так и здравоохранения. Согласно Приказу

Министерства здравоохранения Российской Федерации от 02.05.2023 № 206н, медицинские работники обязаны проходить повышение квалификации не реже одного раза в пять лет для подтверждения своей аккредитации [4]. В то же время ФГОС ВО 3++, утверждённые Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27.02.2023 № 208, предъявляют к преподавательскому составу требования по владению современными педагогическими технологиями, методами оценки компетенций и цифровыми инструментами [5].

Таким образом, персонал МОО вынужден соответствовать двойной нормативной нагрузке, что создаёт объективные трудности в планировании и реализации программ развития. Более того, как отмечают исследователи, отсутствует единая государственная стратегия непрерывного профессионального развития (НПР) для работников сферы медицинского образования, что приводит к фрагментации усилий на уровне отдельных организаций [6].

В отечественной педагогике профессиональное развитие рассматривается как целенаправленный, системный и непрерывный процесс, направленный на расширение профессиональных компетенций, формирование инновационного мышления и повышение эффективности деятельности [7]. В контексте МОО выделяют следующие ключевые компоненты:

- Педагогическая компетентность — способность проектировать и реализовывать образовательные программы в соответствии с компетентностным подходом;
- Клиническая экспертиза — владение актуальными протоколами диагностики и лечения, участие в клинических разборах и мультидисциплинарных консилиумах;
- Цифровая грамотность — умение использовать электронные образовательные ресурсы, симуляционные платформы, телемедицинские технологии [8];
- Мягкие навыки — коммуникация, эмоциональный интеллект, лидерство, работа в мультидисциплинарной команде [9].

Анализ результатов собственного исследования показал, что все респонденты прошли повышение квалификации в течение последних 3 лет, однако только 34,1 % считают, что полученные знания были полезны в их текущей деятельности.

Среди основных препятствий профессионального развития были названы (рис. 1):

- нехватка времени из-за высокой рабочей нагрузки — 100 %;
- недостаток финансирования на обучение — 36,4 %;
- недостаток поддержки со стороны руководства — 36,4 %;
- недостаток обратной связи по результатам обучения — 54,5 %.

При этом, наибольшую заинтересованность у респондентов вызывают (рис. 2.):

- практические мастер-классы — 90 %;
- интерактивные семинары с разбором кейсов — 80 %;
- групповые обсуждения и дискуссии — 80 %;
- симуляционные тренинги — 50 %.

Ключевыми стимулами к участию в программах развития респонденты отмечают (рис. 3):

- выделение рабочего времени на обучение — 72,7 %;
- финансовая поддержка курсов и конференций — 54,5 %;
- доступ к платным образовательным платформам — 54,5 %;
- поощрение за сертификаты и публикации — 54,5 %.

Полученные данные согласуются с выводами Т. А. Семёновой о том, что мотивация и институциональная поддержка являются критическими факторами вовлечённости в процессы непрерывного профессионального развития [9].

На основе анализа нормативной базы, теоретических работ и эмпирических данных можно выделить следующие эффективные стратегии:

1. Персонализированные образовательные траектории — внедрение индивидуальных планов раз-

Какие факторы, по вашему мнению, чаще всего мешают профессиональному развитию?

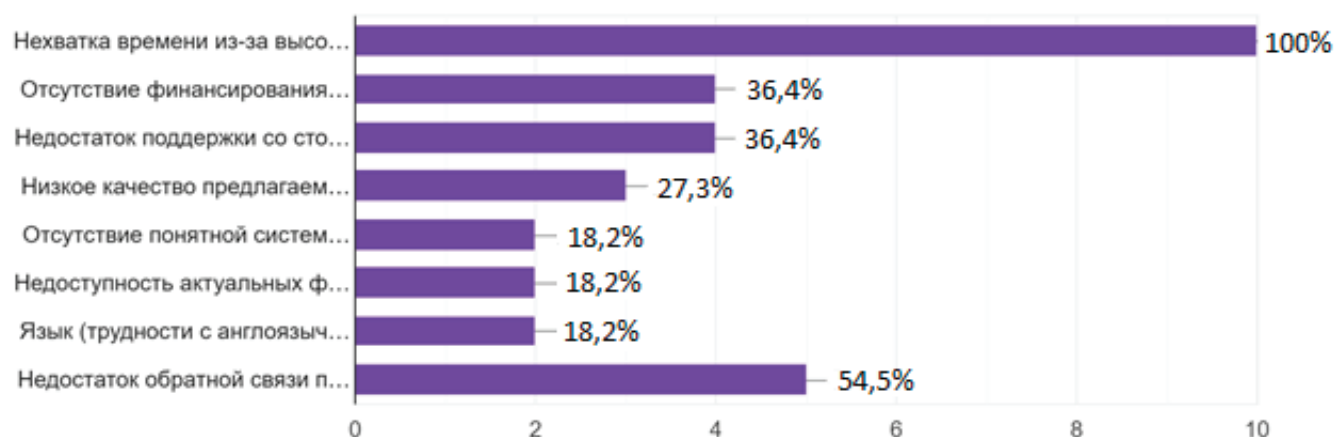


Рис. 1. Основные препятствия к профессиональному развитию сотрудников МОО по данным анкетирования



Рис. 2. Наиболее важные форматы профессиональному развитию сотрудников МОО по данным анкетирования



Рис. 3. Ключевые стимулы профессионального развития сотрудников МОО по данным анкетирования

вития (ИПР), учитывающих должность, стаж, интересы и карьерные цели сотрудника, позволяет повысить релевантность обучения. Например, в Первом МГМУ им. И. М. Сеченова с 2023 г. функционирует «Академия преподавателей», где ИПР разрабатываются совместно с кураторами [10].

2. Цифровизация и микрокреденциалы — короткие онлайн-курсы (микрокреденциалы). Современные МОО активно внедряют гибридные формы обучения: онлайн-курсы на платформах Stepik, Coursera, собственные LMS (Learning Management Systems), а также симуляционные тренажёры и VR-технологии. Например, в Первом МГМУ им. И. М. Сеченова функционирует Центр симуляционного обучения, где преподаватели проходят обучение по методике преподавания на симуляторах [10, 11].

3. Система наставничества. Эффективной практикой является внедрение системы менторства для молодых преподавателей и врачей. По данным исследования Т. А. Семё-

новой, наставничество повышает уровень адаптации новых сотрудников на 35 % и снижает риск профессионального выгорания [9]. Как показывает опыт СГМУ, внедрение программы «Наставник нового поколения» снизило уровень выгорания у молодых преподавателей на 28 % за год [12].

4. Интеграция с научной деятельностью — поддержка участия в грантах, публикационная активность и межвузовские конференции способствуют не только профессиональному росту, но и укреплению научного потенциала организации.

Однако, как показывает опыт СПбГУ и Казанского государственного медицинского университета, формирование культуры непрерывного обучения возможно только при наличии чёткой кадровой политики, системы поощрений и прозрачных карьерных траекторий [6]. Эффективное профессиональное развитие невозможно без стратегического видения руководства. Согласно рекомендациям Минобрнауки России (письмо от 15.03.2023

№ МН-15/1234), вузы должны разрабатывать комплексные программы развития персонала, интегрированные в общую стратегию [13].

Ключевыми элементами такой политики на наш взгляд являются:

- выделение бюджета на обучение (не менее 3–5 % от фонда оплаты труда);
- предоставление «обучающего времени» (освобождение от части нагрузок);
- создание системы поощрений (премии, карьерный рост, гранты);
- регулярная оценка эффективности программ (KPI, фокус-группы, метрики вовлечённости).

Заключение

Профессиональное развитие сотрудников медицинской образовательной организации — это не просто выполнение нормативных требований, а стратегический ре-

курс обеспечения качества медицинского образования и здравоохранения в целом. Эмпирическое исследование выявило, что главными барьерами остаются нехватка времени, формальный подход к обучению и отсутствие институциональной поддержки.

В то же время существует высокий потенциал для трансформации: сотрудники готовы развиваться, если программы будут персонализированными, практичными и поддерживаемыми. Перспективы связаны с дальнейшей цифровизацией, внедрением искусственного интеллекта и гибких форматов в обучение, а также созданием национальной системы непрерывного профессионального развития в сфере медицинского образования.

Для этого необходимы совместные усилия Минздрава России, Минобрнауки России, профессиональных сообществ и самих образовательных организаций. Только системный, межведомственный подход позволит вывести профессиональное развитие на качественно новый уровень.

Литература:

1. Национальные проекты «Кадры» и «Образование» [Электронный ресурс]. — URL: <https://национальныепроекты.рф> (дата обращения: 20.10.2025).
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования — подготовка кадров высшей квалификации по направлению подготовки 31.06.01 «Медицинские науки» (Приказ Минобрнауки России от 12.08.2022 № 646).
3. Петров Д. С. Проблемы непрерывного профессионального развития медицинских работников // Здравоохранение РФ. — 2022. — № 6. — С. 78–84.
4. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 02.05.2023 № 206н «Об утверждении Квалификационных требований к медицинским и фармацевтическим работникам с высшим образованием» (ред. от 19.02.2024) // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 18.10.2025).
5. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27.02.2023 № 208 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования» // Официальный интернет-портал правовой информации. — URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 18.11.2025).
6. Григорьева Е. В. Кадровая политика в медицинском вузе: вызовы и решения // Университетское управление: практика и анализ. — 2023. — № 1. — С. 25–31.
7. Зеер Э. Ф. Психология профессионального образования. — М.: Академия, 2020. — 320 с.
8. Лубовская А. В. Педагогические аспекты подготовки медицинских кадров в условиях цифровой трансформации // Высшее образование в России. — 2022. — № 5. — С. 40–47.
9. Семёнова Т. А. Наставничество как ресурс адаптации молодых специалистов в медицинских вузах // Медицинское образование в России. — 2023. — № 2. — С. 55–61.
10. Официальный сайт Первого МГМУ им. И. М. Сеченова [Электронный ресурс]. — URL: <https://sechenov.ru> (дата обращения: 20.10.2025).
11. Шестакова И. В., Кузнецов А. Н. Цифровые образовательные среды в медицинском вузе: опыт и перспективы // Вестник РУДН. Серия: Медицина. — 2024. — Т. 28, № 1. — С. 112–120. DOI: 10.22363/2658-5897-2024-28-1-112-120
12. Отчёт о реализации программы «Наставник нового поколения» в Сибирском государственном медицинском университете (внутренний документ). — Томск, 2024.
13. Письмо Министерства науки и высшего образования РФ от 15.03.2023 № МН-15/1234 «О реализации программ развития персонала в вузах».

Современные представления о патофизиологии злокачественной меланомы кожи

Зубков Владислав Сергеевич, студент

Научный руководитель: Остроухова Оксана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент

Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

Злокачественная меланомы кожи представляет собой одну из наиболее агрессивных опухолей человека, характеризующуюся быстрым прогрессирующим и ранним метастазированием. В последние десятилетия во всем мире, включая Российскую Федерацию, отмечается устойчивый рост заболеваемости данной патологией, что делает ее серьезной медико-социальной проблемой. Установлено, что заболеваемость меланомой кожи зависит от уровня ультрафиолетовой инсоляции, а также от этнического состава населения. Доказана ведущая роль ультрафиолетового излучения как основного канцерогенного фактора, особенно для лиц со светлым фенотипом кожи. Рост заболеваемости и высокая летальность от меланомы кожи определяют первостепенную важность профилактических мер, направленных на ограничение ультрафиолетового воздействия и ранней диагностики. Эффективность лечения и прогноз напрямую зависят от стадии заболевания, на которой была выявлена опухоль. Понимание молекулярных механизмов патогенеза и закономерностей метастазирования является основой для разработки корректной терапии и улучшения исходов заболевания.

Ключевые слова: злокачественная меланомы кожи, эпидемиология, ультрафиолетовое излучение, патогенез, стадии меланомы, метастазирование, TNM-классификация, факторы риска.

Актуальность. Меланомы кожи — злокачественное опухолевое заболевание кожи, развивающееся из меланоцитов — клеток, продуцирующих меланин — основной пигмент кожи. При небольшом первичном размере, многими онкологами данная опухоль считается наиболее опасной из существующих онкозаболеваний, так как она развивается с очень быстрой скоростью и метастазирует в различные органы человеческого тела. Ранее меланомы считались достаточно редким заболеванием, однако в наши дни прослеживается тенденция к более частому выявлению данной патологии среди населения.

Цель работы — изучить эпидемиологию, основные этиологические факторы, стадии развития и особенности метастазирования злокачественной меланомы кожи.

Материалы и методы. В основе работы лежит систематический обзор и анализ медицинской литературы, посвященной данной теме. Для поиска материала использовались поисковые системы «E-library», «Cyberleninka», «PubMed».

Результаты исследования. Эпидемиология. Частота заболеваемости меланомой кожи в разных географических регионах неодинакова. Наблюдается корреляция с уровнем ультрафиолетового излучения, а также с этническим составом населения конкретной местности. Наиболее высокие показатели заболеваемости регистрируются в Австралии и Новой Зеландии [1]. Может показаться, что процент выявления злокачественной меланомы кожи среди всех злокачественных новообразований, выявляемых в Российской Федерации ежегодно, невелик — всего около 2 %. Однако это более 10 тысяч новых случаев ежегодно. За последние 25 лет частота выявления первичной злокачественной меланомы кожи в России возросла более, чем в 2 раза [2].

Этиология. Как и для всех онкозаболеваний, точная причина возникновения меланомы не установлена. Однако выделены несомненные факторы риска. Ведущим фактором риска развития меланомы является ультрафиоле-

товое излучение (УФ-излучение) — как естественное (солнечное), так и искусственное (аппараты для загара) [3]. Спектр УФ-излучения имеет длину волны от 200 до 400 нанометров. Наибольшую угрозу представляют ультрафиолетовые лучи с длиной волны 290–320 нанометров, поскольку ядра клеток кожи наиболее сильно способны поглощать лучи с данной длиной волны, что обуславливает наибольший риск канцерогенеза. Особую опасность УФ-излучение представляет для людей со светлым фенотипом кожи, у которых очень быстро возникают солнечные ожоги (при кратковременном пребывании на солнце) и никогда не возникает загара [4]. Согласно статистическим данным, наиболее часто меланомы возникают у лиц, которые часто получают солнечные ожоги. Особый риск представляют ожоги, полученные в детском и юношеском возрасте. Также в группу риска входят лица старше 50 лет.

Ещё одним немаловажным аспектом развития меланомы является наличие невусов (родинок) — скоплений меланоцитов в коже. В большинстве случаев невусы не изменяются в течение жизни и сохраняют свои размеры и строение, однако треть из всех меланом развивается из родинок [5]. Особую опасность представляют диспластические меланокитарные невусы. Существует шкала ABCDE, благодаря которой имеется возможность заподозрить перерождение невуса в меланому: А — Asymmetry (асимметрия): 2 половины невуса несхожи между собой; В — Border (границы): край невуса неровный, плохо определяется; С — Color (цвет): цвет родинки неоднородный, отличается в разных частях; D — Diameter (диаметр): диаметр невуса больше 6 миллиметров; E — Evolving (развитие): размеры, цвет и/или форма невуса меняются с течением времени [6].

Также факторами риска являются генетические аспекты, наследственность, иммуносупрессия, воздействие токсических веществ, пестицидов, доброкачественные новообразования кожи и др.

Патогенез. В настоящее время стадирование опухоли производят благодаря системе TNM, предложенной Американским объединенным комитетом по борьбе с раком (AJCC). Т (Tumor) — характеристика первичной опухоли; N (Nodus) — характеристика поражения регионарных лимфоузлов (описание регионарного метастазирования); М (Metastasis) — наличие, либо отсутствие отдаленных метастазов [7]. Считается, что инициация и поддержание опухолевого роста происходит в результате мутаций генов BRAF, NRAS, CDK4, находящихся в меланоцитах. В норме эти гены отвечают за нормальный клеточный цикл, поэтому при их мутации происходит сбой, и меланоциты начинают беспорядочно делиться [3].

В патогенетическом развитии злокачественной меланомы выделяют 5 последовательных стадий.

Стадия 0 (меланома in situ), или стадия радиального роста (Tis). На данном этапе атипичные опухолевые клетки разрастаются в радиальном направлении (от центра к периферии) и располагаются интраэпидермально (в пласте эпидермиса), при этом не проникая через базальную мембрану в дерму. Так как эпидермис не содержит сосудов, метастазирование на этой стадии невозможно. Опухолевые клетки крупные, гиперхромные, часто содержат в цитоплазме меланин. Определяется полиморфизм и высокая митотическая активность клеток [6]. В сосочковом слое дермы наблюдается лимфоидный инфильтрат, как реакция организма на опухоль, но опухолевые клетки отсутствуют. При полном хирургическом иссечении опухоли на данной стадии наблюдается благоприятный прогноз для полного выздоровления.

Стадии I и II называют также стадиями вертикального роста, так как опухолевый процесс переходит через базальную мембрану и прорастает в дерму. Атипия клеток становится более выраженной. Преобладают **эпителиоидные, веретенновидные** или **невоидные** типы клеток. Лимфоидный инфильтрат в дерме становится более интенсивным. Меланоциты приобретают способность к инвазивному росту из-за потери Е-кадгерина (специального белка, отвечающего за регуляцию подвижности и пролиферации эпителия. В норме данный белок выполняет роль супрессора в клеточной инвазии) [2].

Стадия I: опухоль не более 1 мм в толщину, без изъязвления (T1a) или с изъязвлением (T1b). При развитии меланомы из невуса, на данном этапе может наблюдаться изменение формы и окрашивания родинки.

Стадия II: меланома достигает 2–4 мм в толщину (T2–T4), признаки регионарного и отдаленного метастазирования отсутствуют. На данной стадии также может отмечаться наличие изъязвлений, либо их отсутствие.

Стадия III (регионарное метастазирование). Опухоль прорастает в близлежащие лимфатические сосуды. Раковые клетки претерпевают эпителиально-мезенхимальный переход. Эпителиальные клетки приобретают фенотипические особенности мезенхимальных стволовых клеток: теряют полярность, становятся более подвижными, приобретают способность секретировать

некоторые вещества, утрачивают связь с соседними клетками и базальной мембраной [4]. Происходит распространение опухолевых клеток в регионарные лимфатические узлы (N1–N3). Возникают сателлитные метастазы (в пределах 2 см от первичной опухоли) или транзитные метастазы (**на расстоянии более 2 см от первичной опухоли, но не дальше области регионарных лимфатических узлов**). При гистологическом исследовании лимфоузла клетки меланомы могут располагаться в виде гнезд или диффузно инфильтрировать ткань. Клетки имеют те же признаки атипии, что и в первичной опухоли [7].

Стадия IV. В эту стадию раковые клетки проникают в кровеносные сосуды и циркулируют в кровотоке. Гематогенным путем они распространяются в органы-мишени (например, легкие, сердце, печень, головной мозг, и т. д.), где проникают через гематотканевые барьеры и начинают разрастаться, при этом разрушая паренхиму органа. Возникают вторичные очаги — **отдаленные метастазы (M1)**. В органах-мишенях обнаруживаются **гнезда опухолевых клеток**, не связанные с местными тканями. Клетки меланомы в метастазах могут сохранять меланин или становиться **амеланотичными**. Часто наблюдается более выраженный клеточный атипизм и более высокая митотическая активность по сравнению с первичной опухолью. **Прогноз на данной стадии крайне неблагоприятный** [5].

Особенности метастазирования. Чаще всего злокачественная меланома кожи образует метастазы лимфогенным и гематогенным путями. Редко встречаются случаи имплантационного метастазирования (раковые клетки распространяются на соседние органы и ткани путем прямого контакта) [1].

Лимфогенный путь — метастазирование через лимфатические сосуды, первоначальный способ распространения. В первую очередь метастазы появляются в регионарных лимфоузлах. Затем, при прогрессировании процесса, могут поражаться и более отдаленные лимфоузлы.

Гематогенный путь — распространение опухоли по кровеносным сосудам. Генерализация процесса происходит именно этим путем. При циркуляции в крови раковые клетки образуют отдаленные метастазы в различных органах. Чаще всего метастазы наблюдаются в печени (90 %), легких (24–28 %), головном мозге (10–40 %) [6]. Также метастазы могут образовываться в костях, коже, сердце, органах желудочно-кишечного тракта и др.

Заключение: Злокачественная меланома кожи — актуальная проблема современной онкологии и дерматологии за счет ее агрессивности и стремительного увеличения случаев выявления данной опухоли. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что в развитии меланомы ключевую роль играет комплекс взаимосвязанных факторов, среди которых доминирует ультрафиолетовое излучение. Знание этиологических факторов развития данного заболевания должно способствовать снижению уровня риска развития меланомы. Понимание основ патогенеза необходимо для корректного выбора терапии. Крайне важно выявление меланомы на ранних стадиях, ведь именно от этого и зависит успех лечения и жизнь пациента.

Литература:

1. Brunsgaard EK, Wu YP, Grossman D. Melanoma in skin of color: Part I. Epidemiology and clinical presentation. J Am Acad Dermatol. 2023 Sep;89(3):445–456. doi: 10.1016/j.jaad.2022.04.056. Epub 2022 May 6. PMID: 35533771.
2. Строяковский Д. Л., Абдулова Н. Х., Демидов Л. В., Жукова Н. В., Новик А. В., Орлова К. В., Проценко С. А., Самойленко И. В., Харкевич Г. Ю., Юрченков А. Н. МЕЛАНОМА КОЖИ // Злокачественные опухоли. 2023. № 3s2–1.
3. Неинвазивные методы диагностики опухолей кожи и их потенциал применения для скрининга меланомы кожи: систематический обзор литературы / О. Е. Гаранина, И. В. Самойленко, И. Л. Шливко [и др.] // Медицинский совет. — 2020. — № 9. — С. 102–120. — DOI 10.21518/2079–701X-2020–9–102–120. — EDN ZZIGRG.
4. Strashilov S, Yordanov A. Aetiology and Pathogenesis of Cutaneous Melanoma: Current Concepts and Advances. Int J Mol Sci. 2021 Jun 15;22(12):6395. doi: 10.3390/ijms22126395. PMID: 34203771; PMCID: PMC8232613.
5. Belote RL, Le D, Maynard A, Lang UE, Sinclair A, Lohman BK, Planells-Palop V, Baskin L, Tward AD, Darmanis S, Judson-Torres RL. Human melanocyte development and melanoma dedifferentiation at single-cell resolution. Nat Cell Biol. 2021 Sep;23(9):1035–1047. doi: 10.1038/s41556–021–00740–8. Epub 2021 Sep 2. PMID: 34475532.
6. Lauters R, Brown AD, Harrington KA. Melanoma: Diagnosis and Treatment. Am Fam Physician. 2024 Oct;110(4):367–377. PMID: 39418569.
7. Kugar M, Akhavan A, Ndem I, Ollila D, Googe P, Blatt J, Wood J. Malignant Melanoma Arising From a Giant Congenital Melanocytic Nevus in a 3-Year Old: Review of Diagnosis and Management. J Craniofac Surg. 2021 Jun 1;32(4):e342–e345. doi: 10.1097/SCS.00000000000007115. PMID: 33170823.

Сахарный диабет в исходе острого и хронического панкреатитов. Развитие панкреатогенного сахарного диабета

Ишутин Роман Дмитриевич, студент;
Федотчева Александра Михайловна, студент

Научный руководитель: Лущик Марина Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент;
Научный руководитель: Остроухова Оксана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент
Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

В статье авторы обосновывают патогенетическую сущность связи между острым и хроническим панкреатитами и развитием панкреатогенного сахарного диабета. В частности, акцентируется внимание на следующих аспектах: механизмы патогенеза, клинические проявления, факторы риска, диагностику и лечение.

Ключевые слова: панкреатогенный сахарный диабет, сахарный диабет, острый панкреатит, Хронический панкреатит, поджелудочная железа, инсулин.

Введение

Острый или длительный хронический панкреатит может быть причиной развития сахарного диабета 3 типа (панкреатогенного сахарного диабета). Это вторичное нарушение метаболизма глюкозы, возникающее на фоне первичного поражения поджелудочной железы.

Распространённость: после перенесённого острого панкреатита риск формирования сахарного диабета 3 типа составляет 15 %. У 15 % пациентов диабет развивается через год, у большей доли — через 5 лет после приступа.

Причины

Хроническое воспаление вызывает постепенное разрушение и склерозирование островков Лангерганса, которые

отвечают за эндокринную функцию. При остром панкреатите страдает эндокринная функция поджелудочной железы, в первую очередь при поражении хвостовой части органа. Это приводит к повреждению β -клеток поджелудочной железы, что вызывает сначала преходящую, а затем и стойкую гипергликемию.

Факторы риска

Тяжесть острого панкреатита, особенно при исходе в панкреонекроз; рецидивирующий острый панкреатит, который вызывает повторное воспаление поджелудочной железы и повреждение клеток; длительное бессимптомное течение хронического панкреатита (при отсутствии обострений) — вторичный диабет развивается приблизительно в 5 % случаев [1].

Цель. Систематизировать современные представления о патогенетической связи сахарного диабета и острого панкреатита в развитии панкреатогенного сахарного диабета.

Материалы и методы. Был проведён литературный обзор научных трудов, используя ресурсы поисковых систем PubMed и eLIBRARY. Для анализа были использованы материалы, содержащие доказательную экспериментальную и клиническую базу по наиболее современным вопросам, касающимся этиологии, патогенеза поджелудочной железы.

Результаты

Поджелудочная железа выполняет эндокринную роль благодаря выработке инсулина и глюкагона, которые высвобождаются в кровоток. Эти гормоны синтезируются специальными структурами — островками Лангерганса, находящимися преимущественно в хвосте органа. Продолжительное воздействие неблагоприятных факторов, таких как алкоголь или лекарства, регулярные эпизоды обострения панкреатита, а также хирургическое лечение поджелудочной способны нарушить ее инсулярное функционирование. Усугубление хронического воспаления приводит к разрушению и замещению соединительной тканью островковых структур. Во время обострений воспаления происходит отек поджелудочной железы, повышается уровень трипсина в крови, что подавляет выработку инсулина. Повреждение эндокринной системы железы сначала вызывает временное повышение уровня сахара в крови, которое впоследствии становится постоянным, приводя к развитию сахарного диабета [2].

Заболевание чаще встречается у людей со стройным или обычным телосложением, отличающихся повышенной нервной возбудимостью. Проблемы с поджелудочной железой проявляются в виде расстройств пищеварения, таких как диарея, тошнота, изжога и вздутие живота. Когда воспаление поджелудочной железы обостряется, боль ощущается в верхней части живота и может быть разной степени. Гипергликемия при хроническом панкреатите развивается не сразу, обычно в течение 5–7 лет. Чем дольше человек болеет и чем чаще случаются обострения, тем выше вероятность развития сахарного диабета. Диабет также может впервые проявиться при остром панкреатите. Гипергликемия после операции возникает внезапно и требует лечения инсулином [3].

Панкреатогенный диабет обычно протекает в легкой форме, с небольшим повышением уровня глюкозы в крови и частыми эпизодами гипогликемии. Пациенты неплохо переносят уровень глюкозы в крови до 11 ммоль/л. Если уровень глюкозы повышается и дальше, появляются симптомы диабета, такие как жажда, частое мочеиспускание и сухость кожи. Панкреатогенный диабет хорошо контролируется с помощью диеты и лекарств, снижающих уровень сахара в крови. Болезнь часто сопровождается инфекциями и кожными заболеваниями [4].

Осложнения. Для панкреатогенного диабета типичны частые, но кратковременные эпизоды снижения уровня сахара в крови, проявляющиеся сильным чувством голода, обильным потоотделением, побледнением кожи, повышенной нервной возбудимостью и дрожью. Если уровень глюкозы продолжает падать, это может привести к спутанности сознания или его потере, судорогам и гипогликемической коме. Продолжительное течение панкреатогенного диабета может вызвать осложнения, затрагивающие различные системы и органы, такие как диабетическое поражение нервов, почек, сетчатки глаза и сосудов, а также дефицит витаминов А и Е и нарушения в обмене магния, меди и цинка [5]. При диабете 3-го типа кетоацидоз и наличие кетонов в моче обычно не наблюдаются [6].

Диагностика панкреатогенного сахарного диабета сопряжена с определенными трудностями. Основные причины этого кроются в длительном бессимптомном течении самого диабета и сложности своевременного выявления воспалительных процессов в поджелудочной железе. Для определения нарушений углеводного обмена используются следующие методы:

Эндокринологическое обследование. Мониторинг уровня глюкозы. При диабете 3 типа характерно нормальное значение глюкозы натощак с последующим повышением после приема пищи. Оценка функционального состояния поджелудочной железы: Проводится путем биохимического анализа крови для определения активности ферментов, таких как диастаза, амилаза, трипсин и липаза. При панкреатогенном диабете в общем анализе мочи обычно не обнаруживаются следы глюкозы и ацетона. Инструментальные методы визуализации: УЗИ органов брюшной полости и МРТ поджелудочной железы позволяют детально изучить ее размеры, структуру, эхогенность [7].

Выводы

Длительность панкреатогенного сахарного диабета тесно взаимосвязана с продолжительностью течения острого и хронического панкреатитов. Низкий уровень С-пептида подтверждает быстрое снижение секреции инсулина и раннюю необходимость назначения инсулинотерапии. Нерегулярный прием ферментов достоверно способствует увеличению частоты обострений острых панкреатитов, ухудшает течение сахарного диабета и приводит к развитию диабетических осложнений. С длительностью панкреатогенного сахарного диабета статистически достоверно увеличивается риск развития гипогликемий, обострения острого панкреатита, для профилактики которых необходимо соблюдать диету, принимать по необходимости ферменты поджелудочной железы, регулярно контролировать глюкозу в крови. Самоконтроль глюкозы крови у больных с сахарным диабетом должен проводиться с помощью современных, точных и простых в применении портативных глюкометров.

Литература:

1. Моисеев В. С. Должен ли терапевт лечить нарушения углеводного обмена? // Клиническая фармакология и терапия. 2021. С. 40–44.
2. Панкреатогенный сахарный диабет / Н. Б. Губергриц, Г. М. Лукашевич, О. А. Голубова [и др.] // Рос. журн. гастроэнтеролога, гепатолога, колопроктолога. 2022. Т. 17, № 6. С. 12–16.
3. Садоков В. М., Винокурова Л. В. Сахарный диабет у больных хроническим алкогольным панкреатитом // Тер. арх. 2023. № 10. С. 27–29.
4. Тарасова Ж. С., Бордин Д. С., Килейников Д. В., Кучерявый Ю. А. Панкреатогенный сахарный диабет: взгляд эндокринолога и гастроэнтеролога. Эффективная фармакотерапия. 2020; 16 (15): С. 92–100.
5. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / под ред. И. И. Дедова, М. В. Шестаковой. Изд. 5-е. М., 2023. 115 с.
6. Казюлин А. Н., Кучерявый Ю. А. Хронический билиарнозависимый панкреатит. М., 2025. 76 с.
7. Каган И. И., Железнов Л. М. Поджелудочная железа: микрохирургическая и компьютерно-томографическая анатомия. М.: Медицина, 2024. 152 с.

Психологическая помощь в паллиативной практике

Ишутин Роман Дмитриевич, студент

Научный руководитель: Крючкова Анна Васильевна, кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой;

Научный руководитель: Гриднева Лариса Григорьевна, кандидат медицинских наук, ассистент

Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

В статье автор исследует роль медицинской сестры в качественном уходе и оказании психологической помощи тяжело больным пациентам.

Ключевые слова: паллиативная помощь, сестринский уход, психологическая поддержка.

По мере приближения инкурабельного пациента к жизненному финалу проявления его болезни могут стремительно меняться, также меняется его потребность во внимании со стороны членов семьи и медицинского персонала. Завершение жизни — это крайне значимое личное переживание, которое может потребовать от человека всех оставшихся эмоциональных и физических сил. В Федеральном законе РФ № 323-ФЗ от 21 ноября 2011 г. «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», впервые в истории отечественного здравоохранения признается необходимость развития в стране паллиативной помощи, как комплекса «медицинских вмешательств, направленных на избавление от боли и облегчение других тяжелых проявлений заболевания, в целях улучшения качества жизни неизлечимо больных граждан» (статья 36).

Главными задачами паллиативной помощи являются улучшение качества жизни заболевшего и членов его семьи, тщательная оценка и симптоматическая терапия боли и остальных проявлений заболевания, а также оказание психической, социальной и духовной поддержки как самому пациенту, так и его близким. Облегчить состояние умирающего пациента лишь при помощи фармацевтических средств нереально. Одной из важных задач хосписной службы является психологическая помощь и пациенту, и близким больного человека. Актуальным

является использование специально разработанных методов по профилактике эмоциональных и физических срывов у населения, которые потеряли близкого человека. Сестринскому персоналу отводится важная роль в оказании психологической помощи пациентам с онкопатологией, а также их родственникам [1].

Облегчить состояние умирающего пациента лишь при помощи фармацевтических средств невозможно. Важно общение с больным, отношение к нему, как живому человеку, который слышит и чувствует, нуждается в вашем присутствии и участии до самого конца. Поэтому при общении с умирающим человеком мед. сестра должна быть всегда готова оказать помощь, проявить терпение, дать возможность больному выговориться, внимательно его выслушать, произнести несколько утешающих слов, объяснить больному, что испытываемые им чувства совершенно нормальны, спокойно относиться к его гневу и недовольству, избегать неуместного оптимизма [2].

Для того чтобы помочь больному справиться со страхом, сестринскому персоналу необходимо: понимать невербальный язык, уметь оказать эмоциональную поддержку, общаться с больным открыто, доверительно, относится к нему с сочувствием и уважением, честно отвечать на вопросы, не внушать несбыточных надежд, давать возможность задавать вопросы, понимать потребности больного, принимать во внимание и стараться удовлетво-

ритель его психические, социальные и духовные потребности, предвидеть трудности и быть готовым к их преодолению.

Большая часть исследователей фиксируют пять главных сменяющихся противоположных психологических реакций (стадий) горевания неизлечимо больного человека, вдруг осведомленного о своем реальном диагнозе: отрицания, агрессия, просьбы об отсрочке, депрессия и принятие. Каждой стадии свойственны свои особенности внешнего поведения и внутренних переживаний инкурабельного пациента, требующие от персонала знаний, терпения, реальной и эффективной помощи. Зачастую качественная перестройка жизни сопровождается смещением материальных и «бытовых» истин в пользу духовных ценностей. В больнице, пациент, измученный тяжелой болезнью, находясь в терминальной стадии заболевания, лишенный привычной жизни и привычного общения с родными, остро нуждается в чуткости, милосердии и внимании персонала к своим потребностям и желаниям. В свою очередь ухаживающие люди должны быть готовы и расположены к адекватному взаимодействию с такими больными [3].

Литература:

1. Кулькова, В. Ю. Организационный механизм взаимодействия государства и некоммерческих организаций в оказании паллиативной помощи / В. Ю. Кулькова // Вопросы управления. — 2019. — № 2. — С. 1–11.
2. Мохов, С. В. Умереть в России: институциональная антропология хосписного ухода / С. В. Мохов // Социология власти. — 2021. — № 4. — С. 55–74.
3. Пономарева, И. П. Паллиативной помощь в гериатрии: современные проблемы и перспективы развития / И. П. Пономарева, К. И. Прощаев // Архив внутренней медицины. — 2022. — № 6. — С. 38–41
4. Костина, Н. И. Психологическая помощь пациентам с онкопатологией и их близким на этапе оказания стационарной помощи / Н. И. Костина, О. С. Кропачева // Злокачественные опухоли. — 2023. — № 4–1. — С. 59–63.
5. Агафонова, А. С. Особенности организации сестринского дела в работе хосписа / А. С. Агафонова. — URL: https://asmu.ru/upload/medialibrary/b0e/Agafonova_Alina_Sergeevna.pdf???history=8&pfid=1&sample=2&ref=0 (дата обращения: 23.11.2025).

Атопический дерматит: патофизиологические механизмы, клинические проявления

Потрашков Родион Валерьевич, студент

Научный руководитель: Остроухова Оксана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент
Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

Заболевания кожи являются одной из наиболее распространенных причин обращения за медицинской помощью по всему миру. От кратковременных проблем, таких как акне и аллергические реакции, до хронических состояний, которые оказывают значительное влияние на качество жизни миллионов людей, провоцируют эмоциональный дискомфорт, снижают самооценку и ограничивают социальную активность. К одним из таких нарушений относят атопический дерматит. Это хроническое наследственное аллергическое воспалительное заболевание кожи, в основе которого лежит сложное взаимодействие генетических дефектов, нарушения барьерной функции кожи и иммунной дисрегуляции, которые участвуют в реализации атопического марша [1]. В данной статье были рассмотрены патофизиологические механизмы атопического дерматита, клинические проявления, которые необходимо выявить на раннем этапе, чтобы назначить правильное лечение.

Поддержка родственников больного начинается с того, что им предоставляется возможность в любое время дня и ночи находиться рядом со своим близким. Забота о больном, участливое отношение к его переживаниям важны и для близких. Здесь требуется особая тактичность от медицинского персонала и в период умирания пациента, и в последние часы его жизни, и в период горевания родственников, переживающих потерю близкого человека. Сотрудникам необходимо позволять находящимся в горе родственникам выплескивать свои эмоции, которые, как правило также протекают стадийно: шок, боль, отчаяние, принятие, разрешение (перестройка) [4].

Таким образом, психологическая помощь пациентам, находящимся в хосписе, и их близким является важным направлением деятельности сестринского персонала в рамках активного многопланового ухода за безнадежно больными людьми. Сочетание высокого профессионализма и истинных христианских добродетелей поможет медицинским работникам в полной мере осуществить миссию служения страждущим людям, получая удовлетворение и радость от своей востребованности и важности выполняемой работы.

Ключевые слова: атопический дерматит; дерматит; филаггрин; зуд; цитокины.

Актуальность. Атопический дерматит является одним из самых частых аллергических заболеваний кожи. В структуре аллергических заболеваний доля атопического дерматита составляет 50–75 %. Данная патология традиционно рассматривалась как заболевание детского возраста, однако в последние десятилетия регистрируется постоянный рост заболеваемости среди взрослого населения. Согласно современным исследованиям, до 10 % взрослого населения развитых стран страдают от этого заболевания, что делает его одной из наиболее актуальных проблем современной дерматологии и аллергологии [2]. Крайне разрушительны психоневрологические и психосоциальные последствия. Изнуряющий хронический зуд, особенно в ночные часы, вызывает стойкую бессонницу, приводящую к дневной усталости, раздражительности и снижению когнитивных функций. Постоянный физический дискомфорт, косметические дефекты и социальная стигматизация провоцируют развитие тревожных и депрессивных расстройств, значительно снижая качество жизни пациентов [3].

Цель. Рассмотреть патофизиологические механизмы и современные принципы лечения атопического дерматита у взрослых.

Материалы и методы исследования. Были проанализированы научные статьи отечественных и зарубежных учёных, авторефераты, диссертации, статистические данные по клиническим случаям атопического дерматита.

Полученные результаты и их обсуждение. Патофизиология атопического дерматита представляет собой порочный круг, формирующийся из трёх ключевых компонентов: дисфункции эпидермального барьера, иммунного дисбаланса и изменённого микробиома кожи. Пусковым звеном часто служит генетически обусловленный дефект кожного барьера, в первую очередь мутации в гене филаггрина, что приводит к нарушению организации рогового слоя, дефициту натурального увлажняющего фактора и трансэпидермальной потере воды [4].

На этом фоне происходит легкое проникновение через кожу аллергенов, микробов и раздражителей. Кератиноциты в ответ на повреждение выделяют цитокины-«алармины» (TSLP, IL-25, IL-33), которые активируют дендритные клетки. Это служит сигналом для поляризации адаптивного иммунного ответа по Th2-типу. Th2-лимфоциты начинают продуцировать ключевые провоспалительные цитокины: IL-4, IL-13 и IL-31. IL-4 и IL-13 подавляют синтез белков кожного барьера, усугубляя его исходный дефект, стимулируют синтез иммуноглобулина Е и приток эозинофилов. IL-31 является основным медиатором зуда. Возникающий интенсивный зуд приводит к расчесам, которые повреждают эпидермальный барьер, замыкая порочный круг [5].

Важнейшимотягчающим фактором является колонизация повреждённой кожи *Staphylococcus aureus*, который

секретирует суперантигены, массивно активирующие Т-клетки и усиливающие воспалительный каскад. При хроническом течении заболевания, особенно у взрослых, к Th2-ответу присоединяются Th1- и Th22-опосредованные иммунные пути с продукцией IFN- γ , TNF- α и IL-22, что поддерживает персистирующее воспаление и приводит к клиническим проявлениям хронизации — лихенификации и фиброзу папул [6].

Современное лечение атопического дерматита заключается в ежедневном многократном использовании эмолентов, содержащих физиологические липиды, такие как церамиды, которые уменьшают сухость кожи, трансэпидермальную потерю воды и снижают проникновение раздражителей. Для купирования активного воспаления применяется противовоспалительная терапия, где препаратами служат топические глюкокортикостероиды различной силы действия, назначаемые короткими курсами для минимизации побочных эффектов. Альтернативой им, особенно для чувствительных зон, выступают топические ингибиторы кальциневрина, которые обладают нестероидным механизмом действия. Контроль зуда, как ключевого симптома, достигается не только противовоспалительными средствами, но и применением системных препаратов, таргетно действующих на его механизмы.

При среднетяжелом и тяжелом течении, резистентном к стандартной терапии, используется системное лечение. Здесь произошла настоящая революция с появлением генно-инженерной биологической терапии, такой как дупилумаб, который, блокируя интерлейкины 4 и 13, разрывает ключевое звено патогенеза. Также в арсенал вошли ингибиторы янус-киназ, эффективно подавляющие внутриклеточные пути передачи воспалительного сигнала и быстро купирующие зуд [7]. Дополнительными методами для терапии распространенных форм остается фототерапия, а классические системные иммуносупрессанты применяются при невозможности использования таргетных препаратов. Неотъемлемой частью лечения является управление провоцирующими факторами, включая коррекцию микробиома кожи и борьбу с вторичной инфекцией.

Без правильного и своевременного лечения развиваются осложнения. Наиболее частыми и значимыми являются инфекционные, обусловленные нарушением барьерной функции кожи и иммунной дисрегуляцией. Поврежденная кожа становится входными воротами для патогенов, среди которых лидирует *Staphylococcus aureus*, вызывающий бактериальные инфекции вплоть до тяжелого стафилококкового синдрома обожженной кожи. Не менее опасны вирусные осложнения, особенно герпетическая экзема Капоши — диссеминированная инфекция вирусом простого герпеса, характеризующаяся распространенными везикулами, эрозиями и выраженной интоксикацией, требующая немедленного системного противовирусного лечения [8].

Со стороны самой кожи хроническое воспаление и постоянное травмирование приводят к стойким дерматологическим изменениям: формируется лихенификация — утолщение кожи с подчеркнутым рисунком, возникают атрофические и гипертрофические рубцы, а длительное воспаление является фактором риска развития кожной Т-клеточной лимфомы (синдром Сезари). Особую группу составляют офтальмологические осложнения, которые могут привести к значительному снижению зрения. К ним относятся атопический кератоконъюнктивит, рецидивирующие конъюнктивиты, а также более серьезные патологии — кератоконус (истончение и деформация роговицы) и передняя субкапсулярная катаракта, развивающаяся у молодых пациентов с тяжелым течением болезни. Таким образом, осложнения АтД требуют комплексного мультидисциплинарного подхода, направленного не только на контроль кожного воспаления, но и на активный скрининг, профилактику и лечение сопутствующих системных и психологических нарушений.

Литература:

1. Меледату С., Найдю М. П., Бруннер П. М. Последние данные об атопическом дерматите. Журнал «Аллергия и клиническая иммунология». 2025 г., апрель; 155 (4): 1124–1132. doi: 10.1016/j.jaci.2025.01.013. Опубликовано 22 января 2025 г. PMID: 39855361.
2. Клинические рекомендации. Атопический дерматит. 2024
3. Мухачева Д. А., Разнатовский К. И., Соболев А. В. Особенности психоэмоционального статуса у больных атопическим дерматитом. РМЖ. 2023;3:10–14
4. Орлова Е. А., Кандрашкина Ю. А., Костина Е. М. Роль филагрина в развитии атопического дерматита // Практическая аллергология. 2021. № 2. С. 96–100. 10.46393/2712-9667_2021_2_96_100
5. Березина А. С., Карачева Ю. В., Винник Ю. Ю., Тактаракова С. С. Атопический дерматит. Особенности патогенеза, клиники, диагностики // Вестник СурГУ. Медицина. 2023. Т. 16, № 2. С. 8–13. DOI 10.35266/2304-9448-2023-2-8-13
6. Мухачева Д. А., Разнатовский К. И., Соболев А. В. Новые биомаркеры в субтипировании атопического дерматита как основа персонализированной терапии. 2023; 25 (1): 25–30. DOI: 10.24412/1999-6780-2023-1-25-30
7. Чекаловец А. Л., Шатохина Е. А., Круглова Л. С. Современные направления таргетной терапии атопического дерматита. Эффективная фармакотерапия. 2025; 21 (3): 18–23. DOI 10.33978/2307-3586-2025-21-3-18-23
8. Дворянкова Е. В., Дениева М. И., Шевченко Г. А. Инфекционные осложнения атопического дерматита. Медицинский совет. 2022;16(3):18–24. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-3-18-24>

Выводы

В заключении стоит сказать, что атопический дерматит представляет собой серьезное хроническое заболевание, патофизиология которого формирует порочный круг, включающий дисфункцию эпидермального барьера, иммунный дисбаланс по Th2-типу и изменение микробиома кожи. Современная терапия должна быть комплексной и ступенчатой, начиная с обязательной базовой терапии эмолентами и проактивного применения топических противовоспалительных средств и вплоть до использования инновационных таргетных препаратов при тяжелых формах. Важно осознавать, что заболевание чревато развитием серьезных инфекционных, дерматологических, офтальмологических и психосоциальных осложнений, что диктует необходимость длительного наблюдения и мультидисциплинарного подхода к ведению пациентов для достижения устойчивого контроля над болезнью и улучшения качества жизни.

Цифровой прорыв в неврологии: как VR-технологии меняют парадигму восстановления пациентов после инсультов

Рашидова Рухсона Зарифхоновна, студент
Научный руководитель: Шайкулов Хамза Шодиевич, зав. кафедрой
Университет Зармед (г. Самарканд, Узбекистан)

В статье представлен комплексный анализ применения технологий виртуальной реальности (VR) в нейрореабилитации пациентов, перенесших инсульт. Проведено проспективное рандомизированное исследование с участием 112 пациентов в остром и подостром периоде ишемического инсульта. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что VR-реабилитация обеспечивает более эффективную активацию нейропластических механизмов благодаря мультисенсорной стимуляции, биологической обратной связи и геймификации. Внедрение VR-технологий в клиническую практику нейрореабилитации представляет собой качественно новый этап в восстановлении пациентов после инсульта и требует разработки стандартизированных протоколов и обучения медицинского персонала.

Ключевые слова: виртуальная реальность, нейрореабилитация, ишемический инсульт, нейропластичность, двигательное восстановление, биоуправление, цифровая медицина, мотивация пациентов, клинические исходы.

Введение

Современная неврология столкнулась с необходимостью фундаментального пересмотра традиционных подходов к реабилитации пациентов после инсульта. Ежегодно в мире регистрируется более 15 миллионов случаев инсульта, при этом до 70 % выживших пациентов остаются со стойкими неврологическими дефицитами различной степени выраженности. Традиционные методы физической терапии, несмотря на свою доказанную эффективность, часто сталкиваются с серьезными проблемами, среди которых низкая мотивация пациентов, ограниченная обратная связь, недостаточная индивидуализация упражнений и монотонность реабилитационного процесса. Эти факторы значительно снижают приверженность пациентов к длительной реабилитации и ограничивают потенциальные возможности восстановления.

Технологии виртуальной реальности открывают принципиально новые горизонты в нейрореабилитации, предлагая инновационный подход к восстановлению неврологических функций. Возможность создания контролируемых, адаптивных и эмоционально вовлекающих сред делает VR-реабилитацию мощным инструментом активации нейропластических процессов головного мозга. В последние годы наблюдается стремительный прогресс в развитии медицинских VR-решений, что обусловлено как технологическими достижениями, так и растущим пониманием механизмов нейропластичности.

Особый интерес представляет способность VR-технологий создавать условия для максимально естественного и комплексного восстановления двигательных и когнитивных функций. В отличие от традиционных методов, VR-реабилитация позволяет одновременно воздействовать на multiple сенсорные системы, обеспечивая интеграцию зрительной, слуховой и проприоцептивной информации. Это создает оптимальные условия для реорганизации нейронных сетей и формирования новых функциональных связей в головном мозге.

Цель исследования: Комплексная оценка клинической эффективности и механизмов воздействия иммерсивных технологий виртуальной реальности в нейрореабилитации пациентов, перенесших ишемический инсульт, в сравнении со стандартными методами физической терапии, с анализом влияния на двигательные и когнитивные функции, нейропластичность, мотивацию пациентов, показатели спастичности, функциональную независимость и отдаленные клинические исходы, включая сроки восстановления и возврат к профессиональной деятельности, а также разработка практических рекомендаций по внедрению VR-реабилитации в клиническую практику.

Материалы и методы

Проведено проспективное рандомизированное исследование с участием 112 пациентов в остром и подостром периоде ишемического инсульта, которые проходили лечение в неврологическом отделении Самаркандского университета «ЗАРМЕД» в период с января 2023 по декабрь 2024 года. Критериями включения в исследование были: возраст от 18 до 75 лет, первичный ишемический инсульт в каротидном или вертебробазилярном бассейне, срок от начала заболевания от 2 недель до 6 месяцев, наличие двигательного дефицита верхней или нижней конечности умеренной или выраженной степени. Критериями исключения являлись: тяжелые когнитивные нарушения, препятствующие пониманию инструкций, выраженные зрительные нарушения, тяжелые сопутствующие заболевания в стадии декомпенсации, эпилепсия в анамнезе.

Пациенты были рандомизированы на две группы методом случайной выборки с использованием компьютерной программы генерации случайных чисел. Основная группа включала 56 пациентов, которые получали комплексную реабилитацию с использованием иммерсивных VR-систем OculusRift S и HTC VivePro. Контрольная группа из 56 пациентов получала стандартную физическую терапию по общепринятым протоколам. Обе группы получали реабилитацию в течение 6 недель, по 5 сеансов в неделю, продолжительностью 45 минут каждый сеанс.

В исследовании использовались специализированные медицинские VR-платформы MindMotion GO и BTS NIRVANA, которые обеспечивали биологическую обратную связь и адаптивную сложность упражнений. Система MindMotion GO включала 42 различных упражнения, направленных на восстановление движений верхних конечностей, while BTS NIRVANA предлагала 28 упражнений для нижних конечностей и тренировки ходьбы. Все упражнения были разработаны с учетом принципов motorlearning и постепенного увеличения сложности.

Оценка эффективности проводилась с использованием международных валидированных шкал: шкала Fugl-MeyerAssessment для оценки двигательных функций верхних и нижних конечностей, BoxandBlockTest для оценки мелкой моторики, MontrealCognitiveAssessment для оценки когнитивных функций, модифицированная шкала Эшворт для оценки спастичности, тест 10-метровой ходьбы для оценки функции ходьбы. Дополнительно оценивались показатели качества жизни по опроснику EQ-5D и уровень мотивации пациентов по визуальной аналоговой шкале.

Результаты

Применение VR-технологий продемонстрировало статистически значимое превосходство над традиционными

методами реабилитации по всем оцениваемым параметрам. В основной группе улучшение показателей по шкале Fugl-Meyer для верхних конечностей составило 42,3 % ($p < 0,01$) против 28,7 % в контрольной группе, для нижних конечностей — 38,9 % ($p < 0,05$) против 25,4 % соответственно. Мелкая моторика оценивалась с помощью теста BoxandBlockTest, где количество выполненных заданий увеличилось на 38,9 % в основной группе против 25,4 % в контрольной группе. Особенно впечатляющие результаты были достигнуты в восстановлении тонких движений пальцев кисти — улучшение составило 45,2 % в основной группе против 29,8 % в контрольной.

Когнитивные функции по шкале MoCA улучшились на 35,8 % против 22,1 % в контрольной группе. Наибольший прогресс отмечался в таких когнитивных доменах как внимание и исполнительные функции — улучшение на 42,6 % в основной группе против 26,3 % в контрольной. Память и ориентация также показали значительное улучшение — на 38,4 % и 33,7 % соответственно в основной группе.

Особенно значимые результаты наблюдались в показателях мотивации и приверженности терапии: 87 % пациентов основной группы отмечали высокий уровень мотивации к занятиям против 54 % в контрольной группе. При этом 92 % пациентов основной группы выразили желание продолжить реабилитацию после окончания исследования, в то время как в контрольной группе этот показатель составил 63 %. Средняя посещаемость занятий в основной группе составила 94,2 % против 78,6 % в контрольной группе.

Клинические исходы пациентов показали, что в основной группе 78 % пациентов достигли значительного улучшения в повседневной активности по шкале Бартела, в то время как в контрольной группе этот показатель составил 45 %. Способность к самостоятельному передвижению восстановилась у 82 % пациентов основной группы против 57 % в контрольной. Навыки самообслуживания значительно улучшились у 75 % пациентов основной группы против 43 % в контрольной.

Обсуждение

Полученные результаты убедительно подтверждают гипотезу о том, что VR-реабилитация обеспечивает более эффективную активацию нейропластических механизмов благодаря нескольким ключевым факторам. Мультисенсорная стимуляция обеспечивает одновременное задействование зрительной, слуховой и проприоцептивной систем, что создает оптимальные условия для реорганизации нейронных сетей. Это особенно важно в контексте современных представлений о нейропластичности, где мультимодальная интеграция рассматривается как ключевой механизм восстановления функций после повреждения головного мозга.

Биологическая обратная связь, предоставляемая VR-системами, позволяет пациентам визуализировать

свои движения в реальном времени, что значительно усиливает проприоцептивный вход и улучшает моторное обучение. Этот аспект представляется особенно ценным, учитывая важность проприоцепции для формирования правильного двигательного стереотипа. Точная визуализация даже минимальных движений создает условия для осознанного управления двигательными актами, что способствует более быстрому и качественному восстановлению.

Геймификация реабилитационного процесса демонстрирует выраженный положительный эффект на мотивацию пациентов. Игровые элементы, система поощрений и прогрессивное увеличение сложности заданий создают условия для поддержания высокого уровня вовлеченности на протяжении всего курса реабилитации. Это особенно важно учитывая, что традиционная реабилитация часто сопровождается снижением мотивации из-за монотонности упражнений.

Персонализация подхода обеспечивает адаптацию сложности заданий в соответствии с индивидуальными возможностями каждого пациента. Современные VR-системы позволяют точно дозировать нагрузку и постепенно увеличивать требования по мере улучшения функционального состояния пациента. Это создает условия для оптимального двигательного обучения без риска перегрузки или, наоборот, недостаточной стимуляции.

Заключение

Внедрение VR-технологий в клиническую практику нейрореабилитации представляет собой качественно новый этап в восстановлении пациентов после инсульта. Доказанная эффективность, высокая мотивационная составляющая и возможности персонализации делают VR-реабилитацию перспективным направлением современной неврологии. Результаты исследования демонстрируют значительное улучшение клинических исходов у пациентов, включая сокращение сроков восстановления, повышение показателей возврата к профессиональной деятельности и улучшение качества жизни.

Полученные данные свидетельствуют о том, что VR-реабилитация обеспечивает комплексное воздействие на двигательные, когнитивные и эмоциональные функции пациентов. Мультисенсорная стимуляция, биологическая обратная связь и геймификация создают оптимальные условия для активации нейропластических процессов и формирования новых функциональных связей в головном мозге.

Для широкого внедрения этих технологий необходима разработка стандартизированных протоколов, обучение медицинского персонала и создание экономически доступных решений. Особое внимание следует уделить разработке критериев отбора пациентов для VR-реабилитации и определению оптимальных параметров тренировок для различных категорий пациентов.

Литература:

1. Юсупов М. и др. Иммунный статус детей с коли инфекцией, вызванной гемолитическими эшерихиями до и после лечения бифидумбактерином и колибактерином // Журнал биомедицины и практики. — 2021. — Т. 1. — №. 4. — С. 164–168.
2. Shayqulov H. S., Baratova R. S. Klinik namunalarda patogen escherichia coli shtamlarining ajralishi // Экономика и социум. — 2025. — №. 5–1 (132). — С. 1665–1669.
3. Shodieva S. H. et al. Bolalar o'rtasida qandli diabet kasalligini kelib chiqishini sabablarini o'rganish // shokh library. — 2025. — С. 41–41.
4. Shodieva S. H., Mardanovna I. M. Terining surunkal yiringli-yallig'lanish kasalliklarida mikroflora va antibiotiklarga sezgirligi // Международный журнал теории новейших научных исследований. — 2025. — Т. 1. — №. 1. — С. 191–197.
5. Шайкулов, Х. Ш. Изменению микробиоценоза кишечника при поносах у детей / Х. Ш. Шайкулов, Ф. Н. Омонова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 8 (507). — С. 24–26. — URL: <https://moluch.ru/archive/507/111522>.
6. Сезонные колебания содержания холестерина в крови и их причина / Х. Ш. Шайкулов, Д. У. Нарзиев, С. М. Хаитов [и др.]. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 5 (504). — С. 57–59. — URL: <https://moluch.ru/archive/504/110880>.
7. Шайкулов, Х. Ш. Antibiotikorezistent laktobakteriyalardan foydalanishning samaradorligi / Х. Ш. Шайкулов, С. М. Хаитов, Ф. Б. Эшмаматова, М. Б. Ташполатова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 10 (457). — С. 268–271. — URL: <https://moluch.ru/archive/457/100581>.
8. Шайкулов, Х. Ш. Esherixioz bilan kasallangan bolalardan ajratilgan gemolitik E.coli bakteriyalarining antibiotiklarga sezgirligi / Х. Ш. Шайкулов, М. Р. Расулова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 4 (451). — С. 489–491. — URL: <https://moluch.ru/archive/451/99414>.

Патофизиология аутоиммунных гемолитических анемий

Серобаба Вадим Александрович, студент

Научный руководитель: Остроухова Оксана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент
Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

Аутоиммунная гемолитическая анемия (АИГА) — понятие, объединяющее группу редких гематологических заболеваний и синдромов, характеризующихся разрушением эритроцитов вследствие образования аутоантител к антигенам на поверхности эритроцитов. В зависимости от оптимальной температуры АИГА подразделяют на тепловую (т-АИГА), холодную (х-АИГА) и лекарственно индуцированную. В каждой группе выделяют первичную, или идиопатическую, и вторичную, проявляющуюся на фоне другой патологии. Данная патология обусловлена сложными реакциями с участием В-клеток и Т-клеток (Т-хелперы 1-го, 2-го и 17-го типа, регуляторные Т-лимфоциты). Также важную роль играют выделяемые ими цитокины IL-17 и IL-21. Целью работы: является анализ данных о современном понимании патогенеза АИГА. Материалы и методы исследования: был осуществлён обзор литературных данных с использованием платформ «PubMed» и «E-library». Результаты исследования: обобщение всех современных данных и представлений о патогенезе данного заболевания. Было выяснено, что гемолиз осуществляется по 2 основным механизмам: в селезенке и посредством антителозависимой клеточно-опосредованной цитотоксичности. (АЗКЦТ). Также имеет место и наследственный фактор, а именно появление мутаций в аллелях HLA-B8 и BW6, связанных с повышенным риском АИГА. Сделано заключение о важности интерлейкинов и Т-лимфоцитов, более подробно изучается влияние В-клеток, а именно теория «запретного клона».

Ключевые слова: анемия, гемолиз, интерлейкины, иммунная система, развитие заболевания.

Autoimmune hemolytic anemia (AIHA) is a term that encompasses a group of rare hematological diseases and syndromes characterized by the destruction of red blood cells due to the formation of autoantibodies to antigens on the surface of red blood cells. Depending on the optimal temperature, it is divided into thermal (t-AIHA), cold (x-AIHA), and drug-induced AIHA. Within each group, there are primary or idiopathic AIHA and secondary AIHA, which occurs in the context of other medical conditions. This pathology is caused by complex reactions involving B-cells and T-cells (type 1, 2, and 17 helper T-cells, and regulatory T-lymphocytes). The cytokines IL-17 and IL-21 secreted by these cells also play an important role. The aim of this study is to analyze the current understanding of the pathogenesis of AIHA. The research materials were obtained from the PubMed and E-library platforms. For conducting the study, we used analysis and synthesis of the scientific literature available to us as methods.

Keywords: *anemia, hemolysis, interleukins, immune system, disease development.*

Актуальность. Данная патология относится к редким, заболеваемость составляет 1–3 случая на 100 тыс. населения.

Введение

Аутоиммунная гемолитическая анемия (АИГА) — заболевание, характеризующееся наличием аутоантител против собственных эритроцитов (красных кровяных телец). Вследствие этого уменьшается количество циркулирующих эритроцитов в кровотоке, их продолжительность жизни сокращается до нескольких дней, вместо 100–120 дней. При разрушении эритроцитов их содержимое попадает в кровоток и окружающие ткани, что может вызывать специфические и неспецифические проявления. При данной патологии аутоантитела разрушают антигены собственных эритроцитов. Для диагностики могут применять прямой антиглобулиновый тест (ПАТ). В качестве лечения пациентам требуется переливание крови, для компенсации анемии, необходимо исключить наличие аллоантител, которые могут по-разному реагировать с перелитой кровью, так же применяются глюкокортикостероиды.

Материалы и методы исследования. В основе работы лежит анализ научной литературы по данной теме. Работа выполнялась на основе материалов из поисковых систем: «PubMed» и «E-library», «CyberLeninka».

Результаты исследования.

Гемолитическая анемия может быть как самостоятельным заболеванием крови, так и причиной других болезней. Например, она может стать причиной надпочечной (гемолитической) желтухи, так как в механизме ее развития играет роль гемолиз эритроцитов под действием различных эндогенных и экзогенных факторов.

Анемия может приводить к следующим осложнениям:

- 1) Гемолитическая кома — для нее характерно снижение диуреза, угнетение сознания, выраженная желтуха.
- 2) Желчнокаменная болезнь — избыточный билирубин, образующийся при гемолизе эритроцитов, может в тяжелых случаях вызывать образование камней в желчном пузыре.
- 3) Сосудистые осложнения — некоторые виды могут вызывать инсульты, остеонекроз и поражение легких.

Гемолитическая анемия может быть как приобретенной, так и наследственной.

Приобретенные. При их диагностике необходимо исключить кровотечение, а также другие виды анемий, например, железодефицитную и вызванную дефицитом витамина В12. Исключаются врожденные анемии, обусловленные дефицитом глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, до гемоглобинопатий, серповидноклеточной анемии, талассемии.

О гемолитической анемии можно судить по повышению определенных показателей в крови, например, лактатдегидрогеназы, ретикулоцитов и билирубина (косвенно) и снижению или отсутствию гаптоглобина.

Различают следующие формы анемии: тепловую-АИГА и холодовую-АИГА.

Антителами при т-АИГА являются IgG и разрушение наступает путем Fc-опосредованным фагоцитозом и антителозависимой клеточно-опосредованной цитотоксичностью (АЗКЦТ). Разрушение происходит благодаря наличию на мембранах активных лимфоцитов рецепторов к Fc-IgG. АЗКЦТ реализуют иммунокомпетентные клетки (макрофаги, эозинофилы, N-киллеры). Т-АИГА гемолиз происходит в селезенке по пути фагоцитоза или АЗКЦТ.

В инициации и поддержании иммунного ответа отводится важная роль CD4+ Т-хелперам. Выделяют 3 субпопуляции: Т-хелперы 1-го типа — являются стимуляторами иммунного ответа, Т-хелперы 2-го типа — это стимуляторы гуморального ответа, Т-хелперам 17-го типа отдают фундаментальную роль в развитии АИГА.

При проведении моделирования на мышах обнаружилось повышение Т-хелперов 17-го типа и IL-17 — коррелирует с активностью гемолиза при АИГА, повышая гуморальные адаптивные реакции.

Интерлейкин 17 (IL-17) — является продуктом выработки Т-хелперов 17-го типа, его физиологическая роль — защита от бактериальной и грибковой инфекции. Также IL-17 играет немало важную роль в развитии псориаза, системной красной волчанки. Сейчас проводятся научные исследования и эксперименты по внедрению ингибиторов IL-17, как метод лечения АИГА.

Известно, что контроль иммунной толерантности является функцией Т-регуляторных клеток, путем ингибирования Т-лимфоцитов фракции аутореактивных. Иногда развитие аутоиммунной анемии и других реакций связывают с недостаточностью Т-регуляторов. При изучении гена CTLA-4 (поверхностный АГ цитотоксических Т-лимфоцитов), было показано, что этот ген отвечает за кодировку белка, передающего ингибирующий сигнал Т-клетками (Т-регуляторам и другим) и участвующего в патогенезе аутоиммунных заболеваний.

У больных АИГА повышается уровень продукции лимфотоксина α. Лимфотоксин-α — известен, как фактор некроза опухоли, участвует в регуляции жизненного цикла клеток (пролиферация, дифференцировка и апоптоз) и занимает важное место в регуляции врожденного иммунитета.

Таким образом, ген CTLA-4, лимфотоксин-α и IL-17 являются фактором риска развития первичной и вторичной АИГА.

Холодовая АИГА. Возникает при моноклональной гаммапатии, когда популяция В-клеток вырабатывает аутореактивные антитела IgM.

При криоглобулинемии с агглютинацией аутоантител IgM, антитела нацелены на I-антиген, появляющийся на поверхности эритроцитов взрослого человека после пре-

образования с помощью 6-N-ацетилглюкозаминтрансферазы. Структура иммуноглобулина способствует агглютинации эритроцитов. Научные исследования показали, что тяжесть заболевания определяется температурной амплитудой IgM, а не титром. Высокая амплитуда обеспечивает связывание антител даже при нормальной температуре тела.

Смешанная АИГА, заключается в наличии на эритроцитах пациента как IgG, так и C3d. Такая форма может происходить из-за холодового агглютинина IgM, его активности при температуре до 37°C и вызывает активацию комплемента.

Аналогичные механизмы могут лежать в основе лекарственно-индуцированной иммунной гемолитической анемии, когда образование аутоантител происходит в результате гиперчувствительности или неиммунологической адсорбции белков. Такими препаратами является, например, фуросемид, антибиотики — цефалоспорины, нестероидные противовоспалительные препараты.

По результатам последних исследований в развитии АИГА отдают роль В-клеткам, в частности теории «запретного клона» — популяции клеток, которые избегают контроля и постоянно вырабатывают аутоантитела. Фолликулярные Т-хелперы участвуют в контроле дифференцировки В-клеток. Они стимулируют образование В-клеток памяти и длительно живущих плазмочитов. На своей поверхности имеют CXCR5, он определяет их положение в фолликулах. Продуцируемый ими IL-21 стимулирует созревание и дифференцировку В-клеток и новых Т-хелперов.

Интерлейкин 21 (IL-21) — цитокин, оказывающий регуляторное влияние на клетки иммунной системы. Он способен модулировать гуморальный ответ за счет стимуляции дифференцировки В-клеток и ф-Т-хелперов, также отвечает за регуляцию N-киллеров и CD8+ лимфоцитов. Физиологические функции — контроль аллергических

реакций, поддержание иммунного ответа, протектор при ишемии органов и тканей. Его роль в развитии АИГА еще тщательно изучается, но уже имеются данные о его роль в патогенезе.

Наследственные. На манифестацию АИГА влияют генетические варианты моделирования иммунной реакции. Важно отметить, что исследования системы лейкоцитарных антигенов человека (HLA) дали возможность сосредоточиться на полиморфизмах в локусах HLA, которые влияют на отбор и активацию аутореактивных Т-лимфоцитов. Аллели HLA-B8 и BW6 связаны с повышенным риском АИГА. Кроме того, у пациентов с АИГА чаще встречаются такие генетические варианты, как полиморфизм G в гене CTLA4 и конфигурация AG в гене лимфотоксина-α.

Выводы

При анализе научной литературы по теме было выяснено, что в основе патогенеза аутоиммунной гемолитической анемии лежит нарушение иммунологической толерантности, где ключевую роль играют Т- и В-лимфоциты. В развитии т-АИГА важнейшую роль играют 3 основных популяции лимфоцитов: Т-хелперы 1-го, 2-го и 17-го типа. Было выявлено, что повышение лимфотоксина-α присуще АИГА. В последние годы теория «запретного клона» нашла свое место в патогенезе АИГА, но работы по изучению данного механизма еще ведутся.

Продолжаются исследования в тактиках лечения данного заболевания, разрабатываются методы ингибирования интерлейкина-17, коррелирующего с активностью гемолиза при АИГА. Новые эксперименты на лабораторных животных позволяют более глубоко понимать патогенез и все процессы, лежащие в основе основных изменений в организме при развитии данной патологии.

Литература:

1. Beneath the surface in autoimmune hemolytic anemia: pathogenetic networks, therapeutic advancements and open questions. / A. Costa, O. Mulas, A.M Mereu [и др.]. // Front Immunol. — 2025 Jul 31.
2. Васильченкова, П. И. Аутоиммунная гемолитическая анемия: современное состояние вопроса / П. И. Васильченкова, И. В. Гальцева, Е. А. Лукина. // ОГ. — 2023. — № 2.
3. Loria mini, M. Autoimmune Hemolytic Anemias: Classifications, Pathophysiology, Diagnoses and Management. / M. Loria mini, C. Cserti-Gazdewich, DR Branch. — // Int J Mol Sci. — 2024 Apr 12.
4. Аллерген-специфическая иммунотерапия: на пути достижения иммунной толерантности / К. С. Павлова, Д. О. Тимошенко, И. С. Гушин, О. М. Курбачева. // Иммунология. — 2024. — № 1.
5. Argüello, M. M. Autoimmune haemolytic anaemia. / M. M. Argüello, R. M. López, G. L. Castilla. // Med Clin (Barc). — 2023.
6. Autoimmune haemolytic anaemias. / M. Michel, E. Crickx, B. Fattizzo, W. Barcellini. // Nat Rev Dis Primers.. — 2024 Nov 1.
7. Autoimmune hemolytic anemia: current knowledge and perspectives. / SS Michalak, A. Olewicz-Gawlik, J. Rupa-Matysek [и др.]. // Immun Ageing. — 2020.

«Тигровое сердце» как индикатор тяжелой гипоксии: связь между морфологией и системными нарушениями транспорта кислорода

Федотчева Александра Михайловна, студент;

Ишутин Роман Дмитриевич, студент

Научный руководитель: Лущик Марина Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент;

Научный руководитель: Остроухова Оксана Николаевна, кандидат медицинских наук, доцент

Воронежский государственный медицинский университет имени Н. Н. Бурденко

В статье исследуется патогенетическая сущность феномена «тигровое сердце» как высокоспецифичного морфологического маркера терминальной острой гипоксии, прежде всего при отравлении угарным газом.

Ключевые слова: «тигровое сердце», тяжёлая гипоксия, карбоксигемоглобин, отравление угарным газом.

Введение. Гипоксия остаётся одним из ведущих патологических процессов, определяющих танатогенез при многих острых терминальных состояниях [1]. Согласно классификации, принятой в отечественной патофизиологии, особое место занимает гипоксия, обусловленная нарушением транспорта кислорода кровью — гемическая [2]. Наиболее показательным примером служит отравление угарным газом, при котором развивается быстрое и глубокое нарушение связывания кислорода гемоглобином с образованием карбоксигемоглобина. При острой смерти от отравления угарным газом в судебно-медицинской и патологоанатомической практике обнаруживается характерный макроскопический признак — «тигровое сердце» — чередование ярко-красных и бледных полос в миокарде на разрезе [3, 4]. Этот признак считается патогномоничным для тяжёлой гипоксии и отражает системные нарушения транспорта кислорода, приводящие к летальному исходу.

Цель. Систематизировать современные представления о патогенетической связи морфологических изменений миокарда с нарушениями транспорта кислорода при тяжёлой гипоксии.

Материалы и методы. Был проведён литературный обзор научных трудов, используя ресурсы поисковых систем PubMed и eLIBRARY. Для анализа были использованы материалы, содержащие доказательную экспериментальную и клиническую базу по наиболее современным вопросам, касающимся этиологии, патогенеза сердечной мышцы.

Результаты

Морфологическая картина «тигрового сердца»

Макроскопически на разрезе сердца видны чередующиеся полосы ярко-красного и бледно-розового или желтоватого цвета шириной 1–3 мм, преимущественно в субэндокардиальном слое левого желудочка и межжелудочковой перегородке. Полосы располагаются перпендикулярно к длинной оси сердца, напоминая тигровую шкуру [3, 5]. Гистологически в зонах ярко-красных полос определяется резкое полнокровие капилляров и венул с наличием СОНб, в бледных полосах — ишемические по-

вреждения кардиомиоцитов (КМЦ), а конкретно контрактурные повреждения, коагуляционный некроз, фрагментация миофибрилл. Важно, что этот феномен наблюдается только при концентрации СОНб ≥ 50 –60 % и продолжительности агонии не менее 30–60 минут [4].

Патогенетические аспекты формирования полосатости

Снижение транспорта кислорода при высоких концентрациях СОНб приводит к быстрому истощению резервов миокарда. Сердце, потребляющее до 70–80 % доставляемого кислорода уже в покое, переходит на анаэробный гликолиз, как следствие — лактат-ацидоз. Также нарушается работа Na^+/K^+ -АТФазы, возникают отёк и контрактуры сарколеммы.

Ключевое звено — локальная микроциркуляторная дезорганизация: в зонах с относительно сохранённым кровотоком сохраняется высокая концентрация СОНб, что обуславливает ярко-красную окраску; в зонах спазма или тромбоза капилляров — ишемия и бледность. Важно, что СО напрямую ингибирует цитохром-с-оксидазу (сродство СО в 200–250 раз выше, чем у O_2), что усиливает тканевую гипоксию даже при относительно невысокой концентрации СОНб.

Связь с системными нарушениями транспорта кислорода

При концентрации СОНб 50–60 % и выше доставка кислорода тканям падает до критического уровня (< 4 мл O_2 /100 мл крови), что соответствует PaO_2 около 20–25 мм рт.ст. Это приводит к быстрому развитию терминальных состояний:

1. Гипоксия центральной нервной системы (ЦНС) → кома → угнетение сосудодвигательного и дыхательного центров;
2. Гипоксия миокарда → снижение силы сокращений → снижение артериального давления → усугубление циркуляторной гипоксии;
3. Системный ацидоз → дальнейшее смещение кривой диссоциации оксигемоглобина влево.

«Тигровое сердце» свидетельствует о хроническом тяжёлом повреждении миокарда. В редких случаях схожая картина описана при тяжёлой метгемоглобинемии и при крайне тяжёлой анемии ($Hb < 30$ г/л), но только при отравлении СО она достигает классической выраженности.

Заключение. «Тигровое сердце» — высокоспецифичный индикатор терминальной стадии гипоксии, при которой системное нарушение транспорта кислорода до-

стигло необратимого уровня. Его наличие на аутопсии практически патогномонично для летальной концентрации карбоксигемоглобина и свидетельствует о том, что смерть наступила в условиях крайне низкой доставки кислорода тканям. Понимание этого механизма имеет прямое значение как для судебно-медицинской диагностики, так и для интенсивной терапии острых отравлений СО.

Литература:

1. Литвицкий, П. Ф. Патифизиология: в 2 т. Т. 1 / П. Ф. Литвицкий. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 624 с.
2. Патифизиология: в 2 т. Т. 1 / В. В. Новицкий, Е. Д. Гольдберг, О. И. Уразова [и др.]; под ред. В. В. Новицкого, Е. Д. Гольдберга, О. И. Уразовой. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 848 с.
3. Судебная медицина: национальное руководство / под ред. Ю. И. Пиголкина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2015. — 1072 с.
4. Соседко, Ю. И. Судебно-медицинская экспертиза в случаях отравления окисью углерода: практическое пособие / Ю. И. Соседко, В. В. Самчук. — Москва: Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз Минобороны России, 2008. — 48 с.
5. Попов, В. Л. Судебная медицина в вопросах и ответах: учебник / В. Л. Попов, В. И. Акопов. — Санкт-Петербург: ХИМЛИОН, 2002. — 528 с.

ФАРМАЦИЯ И ФАРМАКОЛОГИЯ

Анализ методов прогнозирования потребности в препаратах перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов

Попов Максим Дмитриевич, студент магистратуры
Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого

Статья посвящена сравнительному анализу методов прогнозирования потребности в препаратах перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов (ЖНВЛП). Актуальность исследования обусловлена необходимостью сокращения списания просроченных медикаментов и предотвращения дефицита в условиях выраженной сезонности спроса. Рассмотрены классические статистические модели (ARIMA, SARIMA), алгоритм Prophet, методы экспоненциального сглаживания, нейросетевые подходы (LSTM, GRU) и методы математического приближения. Для каждого подхода определены области применимости, преимущества и ограничения с учётом специфики медицинских данных. Показано, что классические модели обеспечивают высокую точность для препаратов со стабильным спросом на коротких горизонтах, тогда как нейросетевые методы перспективны при необходимости учёта множества внешних факторов. Сделан вывод о целесообразности гибридной стратегии: применять SARIMA для стабильных позиций и ML/нейросетевые модели для категорий, подверженных внешним воздействиям, сочетая методы для повышения устойчивости и точности прогнозов.

Ключевые слова: ЖНВЛП, прогнозирование спроса, временные ряды, ARIMA, SARIMA, Prophet, LSTM, лекарственное обеспечение.

Прогнозирование потребностей регионов в жизненно важных лекарствах (ЖНВЛП) приобретает критическое значение для сокращения списания просроченных препаратов и предотвращения дефицита. В России объявлено о разработке системы средне- и долгосрочного прогноза потребностей в ЖНВЛП [3]. Ожидается, что такой прогноз позволит обеспечить необходимые запасы и предотвратить перебои в поставках лекарств. При этом спрос на многие медикаменты испытывает выраженную сезонность (например, в связи с подъёмом заболеваемости гриппом и ОРВИ зимой), что требует использования моделей, учитывающих сезонные колебания. Прогнозирование спроса на лекарственные препараты опирается на широкий спектр методов — от классических моделей временных рядов до машинного обучения и аналитических аппроксимаций — с целью повысить точность прогнозов, оптимизировать запасы и снизить расходы на дефицит и просроченные лекарственные препараты.

Методы прогнозирования временных рядов и их применимость

Модели ARIMA и SARIMA относятся к классическим статистическим подходам прогнозирования временных рядов. Базовая ARIMA используется преимущественно

для несезонных или предварительно детрендированных данных, поскольку сочетает авторегрессию, скользящее среднее и разностное преобразование, приводя ряд к стационарности. Она хорошо подходит для прогнозирования плавных трендов и краткосрочных горизонтов [5, 6]. При наличии выраженной сезонности — годовой, недельной или иной — применяют расширение SARIMA, которое вводит дополнительные сезонные компоненты и позволяет значительно повысить точность в условиях повторяющихся циклов. Это особенно важно при прогнозировании сезонных заболеваний и других медицинских процессов, где цикличность выражена ярко.

Преимущества подхода — интерпретируемость и низкие вычислительные требования. При корректной настройке SARIMA показывает высокую точность на горизонтах 3–6 месяцев [2, с. 97]. Однако методы имеют ограничения: ARIMA даёт систематические ошибки на сезонных данных, а SARIMA требовательна к длине истории и чувствительна к выбросам и структурным сдвигам, что снижает устойчивость при аномалиях.

Prophet — алгоритм прогнозирования, ориентированный на простое и удобное моделирование бизнес-данных со сложной сезонной структурой. Он автоматически выявляет годовые, недельные и пользовательские сезонные компоненты, корректно обрабатывает пропу-

щенные значения и выбросы, что делает его подходящим для задач, где присутствуют несколько типов сезонности без необходимости детальной ручной настройки. Как отмечается в исследовании [6, с. 172], Prophet «хорошо улавливает сложные шаблоны продаж от ежедневных до годовых ритмов», что подтверждает его способность работать с многослойными сезонными колебаниями. В экспериментальных оценках модель демонстрировала уверенные результаты при прогнозировании долгосрочных трендов для отдельных категорий товаров, например психолептиков, где в одном из исследований достигала значения MAPE около 18.4 %. В целом Prophet показывает точность на уровне десятков процентов и нередко уступает лишь наиболее эффективным моделям машинного обучения, таким как XGBoost [6, с. 183].

Таким образом, Prophet остаётся удобным и гибким инструментом, однако при высоких требованиях к точности в некоторых случаях уступает хорошо настроенным классическим моделям. Особенно заметно это при хаотичных, нерегулярных всплесках спроса, где отсутствуют повторяющиеся сезонные шаблоны.

Помимо перечисленных подходов, к методам временных рядов также относятся простые *наивные модели* и *экспоненциальное сглаживание*.

Помимо описанных ранее подходов, в группе методов временных рядов важную роль играют простые наивные модели и методы экспоненциального сглаживания. Сезонный наивный прогноз (snaive) формирует ожидание, опираясь на значения аналогичного периода предыдущего цикла. Несмотря на простоту, он часто служит эффективным базовым ориентиром при выраженной сезонности.

Методы экспоненциального сглаживания — например, модель Хольта–Винтерса (трёхкратное сглаживание, TES) — учитывают трендовые и сезонные компоненты, быстро реализуются и обеспечивают стабильные результаты для «гладких» временных рядов. Согласно данным исследования, TES в ряде категорий показывал MAPE порядка ~29 %, уступая ARIMA и Prophet по точности в отдельных наборах данных [6, с. 183].

Однако эти модели имеют ограничения: они плохо справляются с резкими аномалиями, сменами режимов и внезапными всплесками спроса, что приводит к заметному снижению точности. Наиболее эффективно они работают при коротких горизонтах прогнозирования и стабильных характеристиках спроса.

Наряду с классическими статистическими подходами, всё более широкое применение находят *методы машинного обучения*, способные учитывать дополнительные признаки и моделировать более сложные нелинейные зависимости.

Нейронные сети, в частности *рекуррентные архитектуры* (LSTM, GRU) и их модификации, хорошо подходят для моделирования нелинейных зависимостей и долгосрочных временных связей. Такие модели способны «запоминать» влияние удалённых событий — например,

эпидемиологических сезонов или календарных праздников — и учитывать сразу несколько типов сезонности при использовании календарных и внешних признаков. Гибридные решения (например, LSTM в сочетании с XGBoost) и механизмы внимания позволяют дополнительно повышать качество прогноза в задачах с большим числом входных индикаторов [1, с. 590].

Эти методы особенно эффективны для товарных позиций с длительной историей наблюдений и богатым набором внешних данных, включая показатели эпиднадзора и логистические параметры. При корректной предобработке нейросети также могут демонстрировать устойчивость к шуму и пропускам, превосходя классические статистические модели в таких условиях.

Однако использование LSTM и сходных архитектур накладывает определённые требования. Необходимы достаточная глубина исторических данных и качественная разметка внешних факторов (эпидемиологические индикаторы, поставки, маркетинговые акции), иначе модель склонна к переобучению. Требуются продуманная предобработка — лагирование, построение скользящих признаков, нормализация — и регуляризация, чтобы избежать появления модельного шума [4].

Помимо нейросетевых методов, для анализа временных рядов нередко применяются *подходы математического приближения*, такие как полиномиальная регрессия, сплайн-интерполяция и методы локального сглаживания (LOESS). Они позволяют аппроксимировать тренд глобально или локально без построения сложных моделей. Однако такие методы слабо учитывают сезонные и циклические колебания. В условиях медицинских временных рядов, где сезонность играет ключевую роль, подобные аппроксимации часто оказываются недостаточными: игнорирование сезонности приводит к систематическим ошибкам, поэтому их применение, как правило, ограничивается вспомогательными задачами — выравниванием тренда или предварительной обработкой данных.

Сравнительный анализ

Опираясь на рассмотренные подходы, можно выделить следующие ключевые особенности, преимущества и недостатки методов применительно к медицинским данным:

1. Классические модели временных рядов (ARIMA / SARIMA):

— Применимость: являются стандартом для прогнозирования препаратов с регулярным потреблением (например, антигипертензивные средства). Модель ARIMA эффективна для равномерных трендов и краткосрочных прогнозов.

— Преимущества: высокая точность на стабильных данных. SARIMA позволяет учитывать жесткую цикличность (годовую сезонность), что критично для сезонных заболеваний, и дает более точные долгосрочные прогнозы по сравнению с простой ARIMA.

— Ограничения: ARIMA неявно предполагает отсутствие сезонности (требует предварительной очистки данных), что может привести к дефициту в пики эпидемии. SARIMA устраняет этот недостаток, но требует сложного подбора параметров и большего объема исторических данных. Неустойчивы к резким структурным сдвигам.

2. Алгоритм Prophet:

— Применимость: оптимален для быстрого построения прогнозов бизнес-данных со сложной, накладываются друг на друга сезонностью (недельная, годовая) и учета праздничных дней.

— Преимущества: автоматизация процесса, гибкость, устойчивость к выбросам и пропускам в данных. Хорошо моделирует долгосрочные тренды для определенных категорий (например, психолептики).

— Ограничения: в ряде случаев уступает по точности (MAPE) специализированным ML-моделям (например, XGBoost) и хорошо настроенным классическим моделям. Менее эффективен при хаотичных, нерегулярных всплесках спроса, не имеющих явной повторяемости.

3. Наивные методы и экспоненциальное сглаживание:

— Применимость: используются как базовые методы для «гладких» данных и коротких горизонтов. Сезонный наивный прогноз эффективен при жесткой повторяемости прошлого периода.

— Преимущества: простота реализации и интерпретации.

— Ограничения: демонстрируют более низкую точность (MAPE ~29 % в сравнительных тестах) по сравнению с ARIMA и Prophet. Плохо предсказывают резкие аномалии, смену режимов и всплески спроса, что критично для предотвращения дефицита ЖНВЛП.

4. Методы машинного обучения (Нейронные сети LSTM/GRU):

— Применимость: наиболее перспективны для позиций с богатой историей и необходимостью учета множества внешних факторов.

— Преимущества: способны моделировать нелинейные зависимости и «запоминать» длительные вре-

менные связи. При корректной настройке и гибридации (например, с XGBoost) показывают высокую точность даже на зашумленных данных.

— Ограничения: высокие требования к качеству и объему данных. Риск переобучения (моделирования шума) при недостатке наблюдений или неправильной регуляризации; требуют трудоемкой предобработки данных (лагирование, нормализация).

5. Методы математического приближения:

— Применимость: ограничена вспомогательными задачами (выравнивание тренда, первичная обработка).

— Недостатки: плохо учитывают сезонные и циклические колебания, являющиеся ключевыми для медицинских данных. Использование их в качестве основного метода прогноза часто приводит к систематическим ошибкам, так как они игнорируют сезонную природу спроса на ЖНВЛП.

Таким образом, анализ методов прогнозирования потребности в ЖНВЛП показывает, что минимизация дефицита и списаний требует дифференцированного подхода к моделированию. Классические статистические методы (ARIMA, особенно в сезонной версии SARIMA) обеспечивают высокую точность для препаратов со стабильным и регулярно повторяющимся спросом на коротких горизонтах. Алгоритм Prophet демонстрирует эффективность при наличии сложной смешанной сезонности и пропусков в данных, позволяя моделировать долгосрочные тренды. Для учета нелинейных зависимостей и внешних факторов (эпидемиология) наиболее перспективны нейросетевые подходы (LSTM/GRU), которые, однако, требовательны к объему данных и настройке. Простые методы сглаживания и математические аппроксимации имеют ограниченную применимость из-за игнорирования резких сезонных колебаний.

Таким образом, оптимальная стратегия прогнозирования должна строиться на гибридном подходе: использовании SARIMA для стабильных позиций и ML-моделей для категорий, подверженных влиянию множества внешних факторов.

Литература:

1. Машинное обучение на лабораторных данных для прогнозирования заболеваний / А. В. Гусев, Р. Э. Новицкий, А. А. Ившин, А. А. Алексеев. — Текст: непосредственный // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. — 2021. — № 4. — С. 581–592.
2. Кумарканова, А. С. Анализ моделей прогнозирования спроса на базе исторических данных расхода лекарственных средств / А. С. Кумарканова, З. Т. Хасенова, Ю. А. Вайс. — Текст: непосредственный // Вестник Академии гражданской авиации. — 2025. — № 36. — С. 90–99.
3. Оперативное совещание с вице-премьерами / [Электронный ресурс] // Правительство России: [сайт]. — URL: <http://government.ru/news/48800/> (дата обращения: 26.11.2025).
4. Пилипенко, А. Ю. Прогнозирование спроса на товары средствами машинного обучения / А. Ю. Пилипенко. — Текст: электронный // КиберЛенинка: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognostirovanie-sprosa-na-tovary-sredstvami-mashinnogo-obucheniya> (дата обращения: 28.11.2025).
5. Рыжков Н. М., Береснев А. Д. Прогнозирование расходования медикаментов для лечения онкологических заболеваний на разрозненных датасетах / Рыжков Н. М., Береснев А. Д. [Электронный ресурс] // Конгресс молодых ученых ИТМО: [сайт]. — URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/10033> (дата обращения: 27.11.2025).

6. Fourkiotis, K. P. Applying Machine Learning and Statistical Forecasting Methods for Enhancing Pharmaceutical Sales Predictions / K. P. Fourkiotis, A. Tsadiras. — Текст: непосредственный // Forecasting. — 2024. — № 6(1). — С. 170–186.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 48 (599) / 2025

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.

Номер подписан в печать 10.12.2025. Дата выхода в свет: 17.12.2025.

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.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.