

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



24 2026
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 24 (627) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

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

Международный редакционный совет:

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

На обложке изображен *Александр Афанасьевич Потебня* (1835–1891), русский и украинский языковед, литературовед, философ.

Александр Афанасьевич родился в 1835 году в дворянской семье штабс-капитана на хуторе Манев, близ села Гавриловка Роменского уезда Полтавской губернии (ныне Роменский район).

Он с отличием окончил Радомскую гимназию и поступил на юридический факультет Харьковского университета, но через год перевелся на историко-филологический факультет. Там же Потебня увлекся этнографией, стал изучать «малорусское наречие» и собирать народные песни. По окончании университета Потебня недолго проработал учителем словесности в 1-й Харьковской гимназии, а затем в 1861 году защитил магистерскую диссертацию «О некоторых символах в славянской народной поэзии» и начал читать лекции в Харьковском университете. В возрасте 26 лет он опубликовал свой труд «Мысль и язык», где сформулировал ряд оригинальных и глубоких теоретических положений. Тогда же он отправился в заграничную командировку — посещал лекции в Берлинском университете, изучал санскрит и побывал в нескольких славянских странах. В 1874 году он защитил докторскую диссертацию «Из записок по русской грамматике», а в 1875 году стал профессором Харьковского университета.

Потебня находился под сильным влиянием идей Вильгельма фон Гумбольдта, однако переосмыслил их в психологическом духе. Он много изучал соотношение мышления и языка, в том числе в историческом аспекте, выявляя прежде всего на русском и славянском материале исторические изменения в мышлении народа. Занимаясь вопросами лексикологии и морфологии, ученый ввел в русскую грамматическую традицию ряд терминов и понятийных противопоставлений. В частности, он предложил различать значение слова: «дальнейшее» (связанное, с одной стороны, с энциклопедическими знаниями, а с другой — с персональными психологическими ассоциациями, и в обоих случаях индивидуальное) и «ближайшее» (общее для всех носителей языка, «народное», или, как чаще говорят теперь в русской лингвистике, «наивное»). В языках с развитой морфологией ближайшее значение делится на вещественное и грамматическое. Ученого глубоко интересовала история образования категорий существительного и прилагательного, противопоставления имени и глагола в славянских языках.

В те времена нередко одни языковые явления рассматривались в отрыве от других и от общего хода языкового развития. И поистине новаторской была мысль Потебни, что в языках и их развитии есть непреложная система и что события в истории языка надо изучать, ориентируясь на его разнообразные связи и отношения.

Александр Афанасьевич известен также своей теорией внутренней формы слова, в которой конкретизировал идеи фон Гумбольдта. Внутренняя форма слова — это его

«ближайшее этимологическое значение», осознаваемое носителями языка (например, у слова «стол» сохраняется образная связь со словом «стать»); благодаря внутренней форме слово может приобретать новые значения через метафору. Именно в трактовке Потебни «внутренняя форма» стала общеупотребительным термином в русской грамматической традиции. Он писал об органическом единстве материи и формы слова, в то же время настаивая на принципиальном разграничении внешней (звуковой) формы слова и внутренней. Лишь многие годы спустя это положение было оформлено в языкознании в виде противопоставления плана выражения и плана содержания.

Одним из первых в России Потебня начал изучать проблемы поэтического языка в связи с мышлением, ставил вопрос об искусстве как особом способе познания мира. Ученый также исследовал украинские говоры (объединявшиеся в то время в лингвистике в «малорусское наречие») и фольклор, стал автором ряда основополагающих работ по этой тематике.

Потебня являлся горячим патриотом своей родины — Малороссии и осуждал правительственные притеснения украинского языка. Украинский язык и словесность он сам называл исходной точкой, которая и побудила его к занятиям языкознанием. Потебня считал необходимым для каждого украинца иметь тесную связь с украинским языком и культурой. Величайшей трагедией Украины Потебня считал то, что украинское дворянство отказалось от родного языка.

Вместе с тем он рассматривал русский язык как единое целое — совокупность великорусских и малорусского наречий, а общерусский литературный язык считал достоянием не только великороссов, но и белорусов и малороссов в равной степени; это отвечало его взглядам на политическое и культурное единство восточных славян.

Потебня создал научную школу, известную как «Харьковская лингвистическая школа». Его идеи оказали большое влияние на многих русских лингвистов второй половины XIX и первой половины XX века.

Александр Потебня являлся членом-корреспондентом Императорской Санкт-Петербургской академии наук по отделению русского языка и словесности, а также действительным членом Общества любителей российской словесности при Московском университете. Он был награжден Ломоносовской премией, Уваровскими золотыми медалями и удостоен Константиновской медали Русского географического общества. Кроме того, Потебня состоял председателем Харьковского историко-филологического общества (1878–1890) и членом Чешского научного общества.

Последние свои дни знаменитый деятель науки провел в Харькове, в доме 16 по улице, которая сейчас носит его имя.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

- Костоева М. М.**
Молекулярный докинг природных фенольных соединений в сайт связывания фенола гексамера инсулина: поиск альтернативных стабилизаторов 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Абу Хассан М.**
Сравнительный анализ подходов к автоматизированному извлечению данных из растровых изображений кассовых чеков 4
- Али Мэри**
Влияние генеративных диффузионных моделей на качество обучающих данных и точность обнаружения объектов моделью YOLO 7
- Ершов П. А.**
Разработка программного средства для анализа рациона питания и тренировок пользователей 16
- Калмыков Т. А., Шевченко О. И., Шевченко О. И.**
Влияние искусственного интеллекта на рынок IT-специалистов 19
- Крбашян Э. Э.**
Кибербезопасность для школьников 23
- Крылов Д. Э.**
Гибридный поиск архивных документов на основе полнотекстового и семантического анализа 24
- Кулик Р. С.**
Разработка мобильного приложения для анализа боксерских тренировок на основе методов компьютерного зрения 26
- Майор М. В., Тулынин И. А.**
Механизмы селективного внимания для обнаружения, классификации объектов субоптимального разрешения в сложных сценах 29

- Морозов А. А.**
Архитектура и математическая модель импульсных нейронных сетей в задачах прогнозирования высокочастотных финансовых временных рядов 32
- Моряков А. В.**
Применение SBOM для управления рисками open-source-компонентов в системах критической информационной инфраструктуры 34
- Мохамад Марах**
Переход от парадигмы text-to-code к подходу text-to-model в задачах автоматизированного архитектурного комплаенса 38
- Мухаметова Л. Р.**
Сравнение производительности файловых систем F2FS, ext4, XFS и Btrfs на NVMe SSD под нагрузкой базы данных (OLTP + аналитические запросы) 43
- Овсянников А. А.**
Особенности процессов разработки ИИ-агентов в университетской среде 45
- Семьнина Е. Г., Косоножкина Л. В.**
Моделирование и проектирование информационной системы управления фитнес-клубом с использованием UML, IDEF0 и DFD 47
- Устинова В. Я.**
Сравнение прямых и ансамблевых подходов к оценке кратких развернутых ответов по программированию с использованием многоязычных BERT-моделей 52

БИОЛОГИЯ

- Наипханова Ш. Н.**
Метаболическая роль лактатдегидрогеназы в развитии опухолей легких 58

МЕДИЦИНА

- Барбашёва А. А.**
Фантомно-болевого синдром: распространенность, патогенез и терапевтические подходы 60

Сухинина А. А.
Клинические проявления
в полости рта при хронической сердечной
недостаточности62

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Сиренко А. Г.
Инструменты цифрового земледелия
и практика их применения в России65

ХИМИЯ

Молекулярный докинг природных фенольных соединений в сайт связывания фенола гексамера инсулина: поиск альтернативных стабилизаторов

Костоева Мадилана Магометсалиевна, студент
Ингушский государственный университет (г. Магас)

Гексамерная форма инсулина определяет его запасание в β -клетках, транспорт в лекарственных формах и устойчивость при хранении. Архитектура гексамера формируется за счет координации ионов цинка, межмономерных контактов и связывания малых ароматических лигандов в аллостерических карманах. Фенол занимает особое место среди таких лигандов: он фиксирует более компактную конформацию комплекса и снижает скорость распада гексамера на димеры и мономеры. На этом фоне поиск природных фенольных соединений с сопоставимым стабилизирующим действием приобретает прикладное значение для фармацевтической химии инсулина. В работе рассмотрены теоретические принципы молекулярного докинга фенольных природных соединений в сайт связывания фенола гексамера инсулина, а также проанализированы классы соединений, представляющие интерес как потенциальные альтернативные стабилизаторы. К ним относятся флавоноиды, танины, кумарины, оксикоричные кислоты и производные бензойной кислоты. Обоснована роль водородных связей, гидрофобных контактов и π - π -взаимодействий в формировании устойчивого комплекса. Показано, что сочетание докинга с молекулярной динамикой позволяет отбирать лиганды с высокой комплементарностью к фенольному сайту и оценивать конформационную стабильность комплекса. Отдельно рассмотрены ограничения вычислительного подхода и необходимость последующей экспериментальной проверки.

Ключевые слова: инсулин, гексамер, фенол, природные фенольные соединения, молекулярный докинг, стабилизация белка, флавоноиды, молекулярная динамика.

Инсулин в гексамерной форме занимает центральное место в технологии инъекционных препаратов. В этом состоянии гормон приобретает повышенную устойчивость к агрегации и протеолизу, а также лучше сохраняется при производстве и хранении. Формирование гексамера происходит из трёх димеров и зависит от присутствия цинка, который координируется с определёнными остатками белка. Однако металлический центр сам по себе не обеспечивает полной стабилизации комплекса. Существенную роль играет связанный фенол, который занимает специфический карман и смещает равновесие в сторону компактной конформации [1].

Сайт связывания фенола относится к числу структурно значимых аллостерических участков. Его лигандная насыщенность влияет на ориентацию отдельных участков белка, а также на межсубъединичные контакты внутри гексамера. Фенольное кольцо в этом сайте участвует в неглубоком, но функционально критичном взаимодействии с аминокислотными остатками, формируя сеть слабых, но кооперативных связей. Такое связывание не блокирует активность инсулина напрямую, а изменяет его пространственную организацию. Именно поэтому фенол и близкие по строению молекулы ис-

пользуют как технологические стабилизаторы в ряде лекарственных форм.

Природные фенольные соединения обладают набором химических признаков, необходимых для взаимодействия с этим карманом. Ароматическое ядро обеспечивает гидрофобный контакт с неполярными участками сайта. Гидроксильные группы служат донорами и акцепторами водородных связей. Для части соединений дополнительную роль играют карбоксильные группы, метоксильные заместители и конденсированные ароматические системы. Такое сочетание структурных элементов создаёт возможность для связывания в ориентации, близкой к фенолу, либо для более плотной фиксации за счет дополнительных контактов с белком.

Молекулярный докинг позволяет количественно оценить взаимодействие лиганда с фенольным сайтом. Виртуальный скрининг включает размещение соединения в активном кармане и расчет наиболее выгодной ориентации по энергетическому критерию. Для инсулинового гексамера существенны размеры молекулы, распределение заряда, пространственная форма и способность формировать направленные взаимодействия [2]. На практике наиболее информативными оказываются комплексы,

Таблица 1. Основные классы природных фенольных соединений, рассматриваемые как альтернативные лиганды сайта фенола инсулина

Класс соединений	Структурные признаки	Потенциальные преимущества	Ограничения
Флавоноиды	Два ароматических кольца, фенольные ОН-группы	Множественные водородные связи, высокая вариативность заместителей	Возможна низкая растворимость
Танины	Высокая степень полифенольности	Сильное белок-связывающее действие	Неспецифичность, крупный размер
Кумарины	Компактное ароматическое ядро	Подходящая геометрия для кармана	Ограниченное число донорных групп
Оксикоричные кислоты	Ароматическое кольцо и боковая цепь	Гибкость и сочетание гидрофобных и полярных контактов	Зависимость от конформации
Производные бензойной кислоты	Ароматическое ядро и карбоксильная группа	Простота структуры, предсказуемое связывание	Меньшая площадь контакта

где лиганд занимает карман без стерических конфликтов и одновременно сохраняет контакт с несколькими ключевыми остатками.

Функциональная ценность докинга возрастает при сочетании с молекулярной динамикой. Статическая модель фиксирует одну выгодную позу, тогда как динамическое моделирование показывает, удерживается ли комплекс в растворе. Такой анализ выявляет колебания лиганда,

перестройки боковых цепей белка, изменения числа водородных связей и вариации межубъединичных контактов. Для гексамера инсулина это особенно значимо, поскольку даже небольшое смещение в аллостерическом сайте может менять устойчивость всего комплекса [4].

Ниже приведены параметры, по которым обычно оценивают перспективность фенольного лиганда для сайта фенола инсулина.

Таблица 2. Критерии отбора природных фенольных соединений для докинга в сайт фенола инсулина

Критерий	Значение для отбора
Энергия связывания	Позволяет сравнивать аффинность кандидатов
Число водородных связей	Отражает устойчивость ориентации в кармане
Гидрофобная комплементарность	Характеризует заполнение ароматического участка сайта
Стерическая совместимость	Исключает конфликты с остатками белка
Стабильность комплекса в молекулярной динамике	Показывает сохранение связанного состояния во времени
Фармакокинетические свойства	Определяют практическую применимость соединения

Не все фенольные соединения одинаково пригодны для стабилизации гексамера. Крупные полифенолы, прежде всего танины, часто демонстрируют высокую способность к связыванию с белками, но эта способность сопровождается низкой селективностью. Для них характерны нежелательные неспецифические контакты, склонность к образованию ассоциатов и ограниченная биодоступность [3]. Такие свойства затрудняют использование танинов в качестве точечных стабилизаторов фенольного сайта инсулина.

Малые фенольные молекулы выглядят более технологичными кандидатами. Кверцетин, галловая кислота, кумариновые производные и ряд оксикоричных кислот обладают меньшими размерами и могут занимать карман без избыточной деформации структуры белка. Для этих соединений легче предсказать ориентацию в сайте связывания и оценить вероятность сохранения контактов при физиологических условиях. Наличие нескольких гидроксильных групп повышает шанс на формирование направленных взаимодействий, а умеренная молеку-

лярная масса облегчает оценку лекарственноподобных свойств [4].

Качество виртуального отбора зависит от параметров протокола. Ошибки в выборе протонирования, степени гибкости белка, сетки поиска и функции скоринга искажают результат. Для фенольного сайта инсулина критично учитывать конформационную подвижность боковых цепей и возможность перехода комплекса между состояниями различной компактности. Без этого докинг может переоценить аффинность соединения, которое в растворе распадается или связывается кратковременно [2, 3].

Практический интерес представляют соединения, которые сочетают умеренную массу, компактную ароматическую систему и достаточное число донорных групп. Именно такая комбинация повышает вероятность точного позиционирования в фенольном кармане и уменьшает риск неспецифического связывания. Для первичного отбора перспективны флавоноиды с ограниченной степенью гликозилирования, простые кумарины, гидрок-

силированные бензойные кислоты и некоторые оксикоричные кислоты. Их дальнейшая оценка должна включать анализ растворимости, устойчивости в среде препарата и влияния на скорость диссоциации гексамера.

Подход, основанный на докинге природных фенольных соединений в фенольный сайт инсулина, позволяет сузить массив потенциальных лигандов до нескольких химиче-

ских классов с наибольшей вероятностью стабилизирующего эффекта. Дальнейшая схема исследования включает молекулярную динамику, оценку свободной энергии связывания, сравнение с фенолом и проверку в экспериментальных моделях. Такой маршрут обеспечивает переход от виртуального отбора к рациональному дизайну альтернативных стабилизаторов инсулиновых препаратов.

Литература:

1. Agu P. C. Molecular docking as a tool for the discovery of molecular targets of nutraceuticals in diseases management / P. C. Agu, C. A. Afiukwa, O. U. Orji [et al.] // Scientific Reports. — 2023. — 13(1). — p. 13398. — DOI: 10.1038/s41598-023-40160-2.
2. Gentile F. Artificial intelligence-enabled virtual screening of ultra-large chemical libraries with deep docking / F. Gentile, J. C. Yaacoub, J. Gleave [et al.] // Nature protocols. — 2022. — 17(3). — p. 672–697. — DOI: 10.1038/s41596-021-00659-2.
3. Crampon K. Machine-learning methods for ligand-protein molecular docking / K. Crampon, A. Giorkallos, M. Deldossi [et al.] // Drug discovery today. — 2022. — 27(1). — p. 151–164. — DOI: 10.1016/j.drudis.2021.09.007.
4. Aghajani J. Molecular Dynamic Simulations and Molecular Docking as a Potential Way for Designed New Inhibitor Drug without Resistance / J. Aghajani, P. Farnia, P. Farnia [et al.] // Tanaffos. — 2022. — 21(1). — p. 1–14.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сравнительный анализ подходов к автоматизированному извлечению данных из растровых изображений кассовых чеков

Абу Хассан Мохаммад, студент магистратуры

Научный руководитель: Болдарев Алексей Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье авторы исследуют методы автоматизированного извлечения структурированных данных из растровых изображений кассовых чеков. Проведён сравнительный анализ четырёх подходов: коммерческого Vision API, классического OCR-движка Tesseract, low-code платформы n8n и гибридной системы на основе локальных мультимодальных языковых моделей. По результатам тестирования на выборке из 30 чеков установлено, что подход на базе Vision-Language Models обеспечивает оптимальное соотношение точности и автономности обработки.

Ключевые слова: оптическое распознавание символов, OCR, мультимодальные языковые модели, LLaVA, Ollama, FastAPI, кассовые чеки, интеллектуальная обработка документов, IDP.

Автоматизированная обработка первичных финансовых документов является актуальной задачей для предприятий малого и среднего бизнеса. Кассовые чеки, регламентированные Федеральным законом № 54-ФЗ [1], содержат верифицированный набор реквизитов: наименование продавца, дату и время расчёта, перечень товаров с ценами, суммы налогов и способ оплаты. Ручная обработка этих документов сопряжена со значительными трудозатратами и высоким риском ошибок ввода.

Применение классических методов оптического распознавания текста (OCR) для обработки кассовых чеков сопряжено с рядом специфических сложностей. Отсутствие единого визуального стандарта разметки, нестабильность термопечати, перспективные искажения фотоизображений и структурная неоднородность документов существенно снижают точность распознавания [2]. В связи с этим актуальным направлением является исследование альтернативных подходов, включая применение мультимодальных нейросетевых моделей.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ четырёх подходов к извлечению структурированных данных из изображений кассовых чеков по метрикам точности, производительности и стоимости внедрения.

1. Проблематика OCR-обработки кассовых чеков

Кассовые чеки образуют специфический класс документов, для которых характерно сочетание нормативно закреплённого состава реквизитов и значительного ви-

зуального разнообразия форматирования. По данным Thorat et al. [2], объём бумажных документов в торговле достиг масштабов, при которых ручной ввод данных стал системным узким местом. Термопечатная лента шириной 57–80 мм, моноширинный шрифт, выравнивание итоговых сумм по правому краю и использование разделительных строк из повторяющихся символов создают визуальную структуру, недоступную для интерпретации классическими OCR-системами.

Анализ литературы [2, 3, 4] и практическое тестирование, проведённое в рамках настоящего исследования, позволяют выделить три группы проблем. Во-первых, деградация качества изображения: фотографии со смартфонов содержат перспективные искажения, засветы и расфокусировку; термопечать неравномерно выцветает по длине ленты. Во-вторых, структурная неоднородность: слова «ИТОГО», «К ОПЛАТЕ» и «СУММА» семантически равнозначны, но требуют различной логики извлечения данных. В-третьих, лингвистические сложности: торговые аббревиатуры, коды ФФД и кириллица в сочетании с латиницей снижают точность OCR-движков.

Tesseract OCR версии 5.x, основанный на LSTM-архитектуре [2], воспроизводит текст в порядке физического расположения на изображении, не разграничивая заголовков, перечень товаров и итоговые суммы. Как показали Kumar et al. [3], даже с предобработкой средствами OpenCV результат требует ресурсоёмкой постобработки регулярными выражениями, что становится основным источником ошибок при обработке разнородных форматов.

Таблица 1. Классификация проблем OCR-обработки кассовых чеков

Группа проблем	Конкретные проявления	Влияние на точность OCR
Качество изображения	Перспективные искажения, засветы, расфокусировка, выцветание термопечати	Снижение до 40–60 % на дефектных изображениях
Структурная неоднородность	Отсутствие стандарта разметки, вариативность реквизитов	Ошибки при извлечении итога, даты, продавца
Специфическая лексика	Аббревиатуры, коды ФФД, сокращения номенклатуры	Семантические ошибки постобработки
Формат термоленты	Ширина 57/80 мм, перенос строк, правое выравнивание	Нарушение структуры строк

2. Методология сравнительного исследования

В рамках исследования разработаны и протестированы четыре прототипа системы, реализующие принципиально различные подходы к решению задачи. Прототип 1 основан на коммерческом Vision API (claude-sonnet-4, Anthropic) и реализован в виде браузерного одностраничного приложения без серверной части. Прототип 2 реализует классический конвейер OCR: предобработка изображений средствами OpenCV, символьное распознавание Tesseract 5.x с языковой конфигурацией eng+rus, постобработка регулярными выражениями. Прототип 3 построен на low-code платформе n8n с использованием Google Cloud Vision API в качестве OCR-компонента. Прототип 4 представляет собой гибридную клиент-серверную систему FastAPI + Ollama с локальными VLM-моделями LLaVA и Mistral.

Тестирование проводилось на выборке из 30 изображений кассовых чеков, стратифицированных по типу торговой точки (продуктовые магазины, кафе, аптеки, АЗС), качеству изображения (высокое — 10, среднее — 12, низкое — 8) и языковому составу (русский — 24, смешанный — 6). Для оценки применялись следующие метрики: FER (Field Extraction Rate) — доля корректно извлечённых полей; OA (Overall Accuracy) — среднее значение FER по пяти ключевым полям; IER (Items Extraction Rate) — доля чеков с полным перечнем товарных позиций; PT (Processing Time) — среднее время обработки одного чека.

Эталонные значения для всех полей получены двукратной ручной разметкой с интервалом две недели. Коэффициент Коэна к для числовых полей составил 0,94, для текстовых — 0,89, что подтверждает высокую надёжность

разметки. Тестирование выполнялось на единой аппаратной платформе: рабочая станция Intel Core i7–12700K, 32 ГБ ОЗУ, NVIDIA RTX 3060 (12 ГБ VRAM).

3. Результаты сравнительного анализа

Результаты тестирования приведены в таблице 2. Данные демонстрируют устойчивую закономерность: AI-подходы превосходят Tesseract по всем полям, причём разрыв нарастает от структурно простых полей к структурно сложным. Для поля «дата» разрыв между П1 и П2 составляет 23 п.п. (97 % против 74 %), тогда как для поля «позиции» он достигает 53 п.п. (84 % против 31 %). Это свидетельствует о принципиальном преимуществе семантического понимания документа над символьным распознаванием при обработке структурно вариативных данных.

Анализ зависимости точности от качества изображений (таблица 3) выявляет принципиальное свойство VLM — устойчивость к деградации входных данных. Падение точности Tesseract при переходе от изображений высокого к низкому качеству составляет 46 п.п. (74 % → 28 %), тогда как для LLaVA — лишь 20 п.п. (91 % → 71 %). Vision-Language Models обучены на миллионах разнообразных изображений и демонстрируют устойчивость к шумам, которая принципиально недостижима для движков, оптимизированных под качественный печатный текст [4].

Исследование платформы n8n Cloud выявило архитектурное ограничение, непреодолимое средствами конфигурации: блокировку запросов к localhost как защиту от SSRF-атак. Это исключает возможность использования локальных AI-моделей в облачном развёртывании и де-

Таблица 2. Field Extraction Rate по ключевым полям чека, %

Поле	П1: AI Vision	П2: Tesseract	П3: n8n+Cloud	П4: Ollama LLaVA
Продавец	93	58	71	86
Дата	97	74	79	91
Итоговая сумма	96	61	76	89
НДС	89	43	58	79
Позиции (IER)	84	31	45	72
Overall Accuracy	91	56	70	84

Таблица 3. Overall Accuracy по группам качества изображений, %

Качество изображения	П1: AI Vision	П2: Tesseract	П3: n8n+Cloud	П4: Ollama
Высокое (n=10)	96	74	84	91
Среднее (n=12)	90	52	68	83
Низкое (n=8)	82	28	47	71

ляет платформу несовместимой с требованием конфиденциальности финансовых данных. Данное наблюдение представляет самостоятельную методологическую ценность: при проектировании AI-поддержанных конвейеров обработки документов необходима заблаговременная верификация сетевых ограничений выбранной платформы.

4. Архитектура финальной системы

По совокупности показателей в качестве финальной реализации выбран Прототип 4 (FastAPI + Ollama). Система реализует многоуровневый конвейер обработки: предобработка изображений (OpenCV) → символьное распознавание (Tesseract) → семантический AI-анализ (Ollama LLaVA/Mistral) → резервный regex-парсер. Принцип graceful degradation обеспечивает работоспособность при любой конфигурации развёртывания: система автоматически переключается на менее точный, но всегда доступный метод при недоступности AI-компонента.

Трёхуровневая стратегия AI-анализа функционирует следующим образом. На первом уровне, при наличии модели LLaVA в каталоге Ollama, изображение передаётся напрямую в vision-модель без промежуточного OCR (temperature=0,05, timeout 120 с). На втором уровне, при отсутствии vision-модели, OCR-текст Tesseract направляется в текстовую LLM (приоритет: Mistral → LLaMA → Gemma → Phi, timeout 60 с). На третьем уровне, при недоступности Ollama, активируется детерминированный regex-парсер. Переключение между уровнями выполняется автоматически по результатам асинхронного опроса эндпоинта /api/tags с таймаутом 4 секунды.

Конвейер предобработки изображений включает четыре этапа. Первый — конвертация в оттенки серого

и масштабирование до минимального размера 1200 пикселей с интерполяцией INTER_CUBIC. Второй — шумоподавление через cv2.fastNlMeansDenoising (h=10). Третий — коррекция перекоса преобразованием Хафа с порогом 0,5°. Четвёртый — адаптивная бинаризация (cv2.adaptiveThreshold, GAUSSIAN_C, блок 31 пиксель) для устранения неравномерности освещения.

Время обработки в режиме LLaVA на GPU составляет в среднем 18 секунд, в режиме Mistral на CPU — 31 секунду, в режиме Tesseract+regex — 5 секунд. Асинхронный интерфейс частично компенсирует накладные расходы нейросетевого инференса при пакетной обработке: пока сервер обрабатывает текущий чек, пользователь загружает следующий. Практическое ускорение относительно ручного ввода составляет 4–10 раз при снижении потребности в ручной верификации до 16 % полей.

Заключение

Проведённый сравнительный анализ установил, что разрыв в Overall Accuracy между лучшим AI-подходом (Ollama LLaVA, 84 %) и классическим Tesseract OCR (56 %) составляет 28 п.п., а на изображениях низкого качества достигает 43 п.п. (71 % против 28 %). Коммерческий Vision API (Claude) обеспечивает наивысшую точность (91 %), однако несовместим с требованиями конфиденциальности и автономности обработки финансовых данных. Разработанная система FastAPI + Ollama достигает точности 84 % при полной локальности, нулевой стоимости использования и автоматическом резервировании методов. Результаты исследования могут быть применены при проектировании систем интеллектуальной обработки документов для предприятий с ограниченными ресурсами.

Литература:

1. Федеральный закон от 22.05.2003 № 54-ФЗ «О применении контрольно-кассовой техники» (ред. от 08.08.2024) // СЗ РФ. — 2003. — № 21. — Ст. 1957.

2. Thorat C., Bhat A., Sawant P. A Detailed Review on Text Extraction Using OCR // LNNS. — Springer, 2022. — P. 719–728. — DOI: 10.1007/978-981-16-5655-2_69.

3. Kumar V., Kaware P., Singh P. Extraction of Information from Bill Receipts Using OCR // ICOSEC. — IEEE, 2020. — P. 72–77. — DOI: 10.1109/icosec49089.2020.9215246.

4. Liu H. et al. Visual Instruction Tuning (LLaVA) // NeurIPS 2023. — Vol. 36. — P. 34892–34916.

5. Wang X., Zhang X., Lei S. Text Detection and Recognition from Receipt Images // J. Physics. — 2020. — Vol. 1518. — DOI: 10.1088/1742-6596/1518/1/012053.

6. Villa-García P. A. et al. End-to-End Entity Extraction from OCRed Texts // Neural Computing and Applications. — 2024. — Vol. 36. — P. 22347–22363. — DOI: 10.1007/s00521-024-10422-9.

7. Jiang A. Q. et al. Mistral 7B // arXiv:2310.06825. — 2023.

8. Lewis P. et al. Retrieval-Augmented Generation for NLP Tasks // NeurIPS 2020. — Vol. 33. — P. 9459–9474.

Влияние генеративных диффузионных моделей на качество обучающих данных и точность обнаружения объектов моделью YOLO

Али Мэри, студент магистратуры

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

В статье рассматривается возможность повышения эффективности обнаружения объектов посредством расширения обучающего набора данных с использованием генеративных диффузионных моделей. В качестве базового набора данных для обучения используется VisDrone2019-DET [10], содержащий 6471 аэрофотоснимок. Для оценки обобщающей способности модели привлекается внешний набор данных UAVDT [12]. Особое внимание уделяется применению синтетических изображений для компенсации недостатка данных и повышения представленности редких категорий объектов (bicycle, tricycle, awning-tricycle). Проведён анализ влияния дополненного набора данных на качество обучения модели YOLOv8. Полученные результаты демонстрируют, что использование генеративных моделей позволяет увеличить mAP50 на 0.6 % на исходном наборе и на 3.5 % на внешнем наборе UAVDT [12], что подтверждает перспективность предложенного подхода.

Ключевые слова: компьютерное зрение, YOLOv8, диффузионные модели, Stable Diffusion XL, синтетические данные, обнаружение объектов, аэрофотоснимки, VisDrone, UAVDT.

Введение

В последние годы системы обнаружения объектов получили широкое распространение в задачах транспортного мониторинга, интеллектуального управления инфраструктурой, анализа аэрофотоснимков и автоматизированного наблюдения. Существенное повышение качества таких систем стало возможным благодаря развитию методов глубокого обучения и появлению современных архитектур обнаружения объектов, таких как семейство YOLO (You Only Look Once).

Среди множества архитектур особого внимания заслуживает **YOLOv8** — последняя версия одностадийного детектора, разработанная компанией Ultralytics [5].

Архитектура YOLOv8 включает три основных компонента: backbone для извлечения признаков, neck для агрегации признаков различных масштабов и detection head для прогнозирования координат ограничивающих рамок и классов объектов [5]. Общая архитектура модели показана на рисунке 1.

Одной из ключевых особенностей YOLOv8 является отказ от anchor-based механизма в пользу anchor-free подхода [5], что упрощает настройку модели и повышает устойчивость обучения. В настоящем исследовании используется модификация YOLOv8n (nano), выбранная как компромисс между вычислительной сложностью и качеством обнаружения.

Несмотря на достигнутые результаты, эффективность моделей обнаружения во многом определяется объёмом и разнообразием обучающих данных. На практике формирование крупных размеченных наборов изображений связано со значительными затратами времени и ресурсов. Особенно остро данная проблема проявляется при работе с редкими категориями объектов и объектами малого размера.

В качестве базового набора данных в настоящем исследовании используется **VisDrone2019-DET** (Vision Meets Drone) [10]. Этот набор данных содержит 6471 изображение для обучения и 548 изображений для валидации, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов в различных условиях съёмки: разная высота полёта, различные погодные условия, высокая плотность объектов и частичные перекрытия. Набор включает 10 классов объектов: pedestrian, people, bicycle, car, van, truck, tricycle, awning-tricycle, bus, motor. Распределение объектов по классам является существенно несбалансированным: классы car и pedestrian представлены тысячами экземпляров, тогда как классы bicycle, tricycle и awning-tricycle — сотнями.

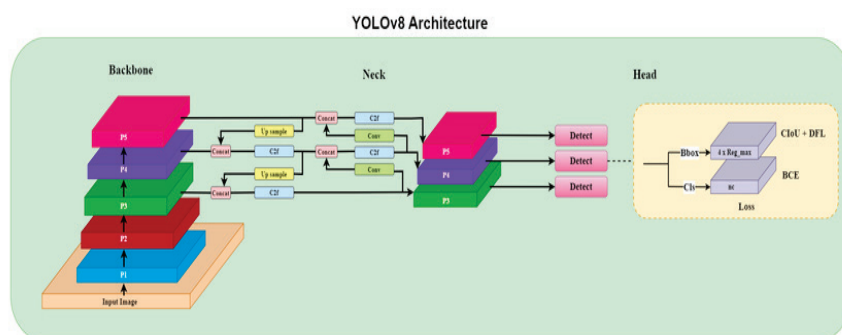


Рис. 1. Общая архитектура YOLOv8 [4, с. 3]

Одним из перспективных способов решения данной проблемы является использование генеративных моделей, способных формировать дополнительные обучающие примеры. Среди современных подходов особый интерес представляют диффузионные модели, обеспечивающие высокое качество синтезируемых изображений и возможность управления процессом генерации с помощью текстовых описаний.

Целью исследования является оценка влияния синтетических изображений, полученных с использованием диффузионной модели Stable Diffusion XL [6] [7], на качество обучающих данных и точность обнаружения объектов моделью YOLOv8 на наборе VisDrone [10], а также оценка обобщающей способности на внешнем наборе UAVDT [12].

1. Анализ исходного набора данных VisDrone и выбор целевого класса

Для выявления классов, наиболее сложных для обнаружения, была обучена базовая модель YOLOv8n на исходном наборе VisDrone. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты базовой модели YOLOv8n на наборе VisDrone

Класс (EN)	Класс (RU)	mAP50
car	автомобиль	0.839
bus	автобус	0.568
pedestrian	пешеход	0.541
motor	мотоцикл	0.537
van	фургон	0.489
people	группа людей	0.421
truck	грузовик	0.399
tricycle	трицикл	0.333
bicycle	велосипед	0.218
awning-tricycle	трицикл с тентом	0.169
Total mAP50	Общая mAP50	0.451

На рисунке 2 представлен типичный график обучения YOLOv8, демонстрирующий снижение функции потерь и рост метрики mAP с увеличением количества эпох.

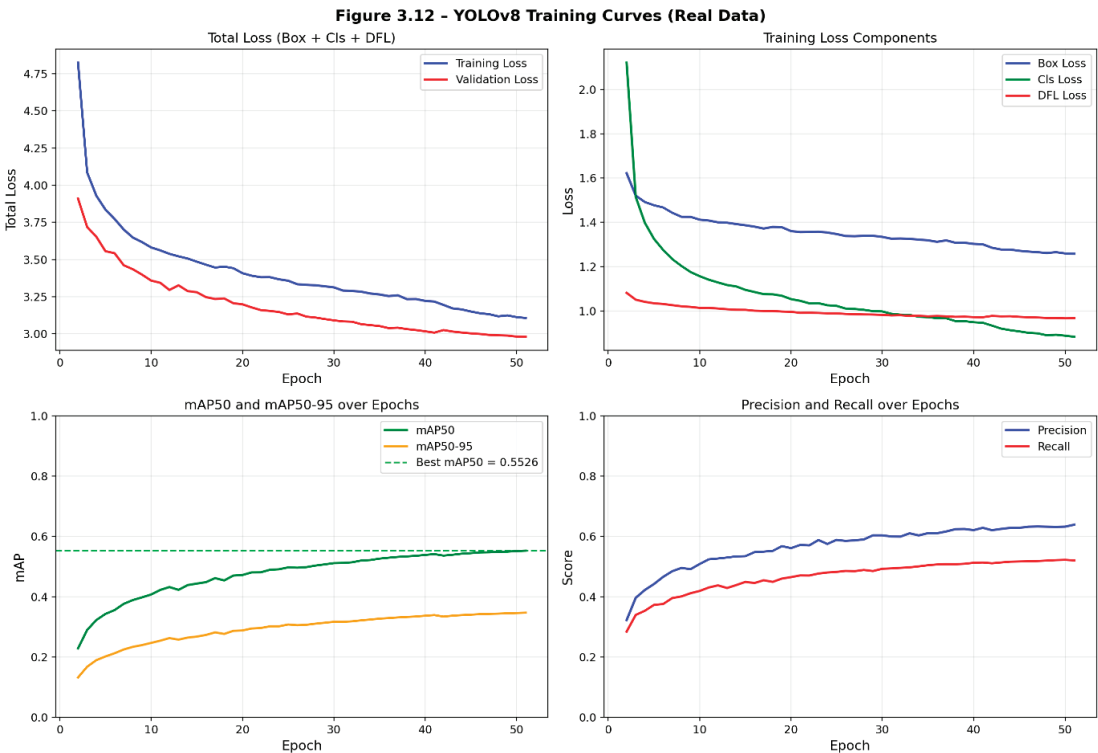


Рис. 2. Типичный график обучения YOLOv8

Как показано в таблице 1, наиболее сложными для обнаружения являются классы малых объектов: bicycle (0.218), tricycle (0.333) и awning-tricycle (0.169). Для улучшения качества обнаружения именно этих классов в настоящем исследовании используются синтетические изображения, сгенерированные диффузионной моделью. Для наглядности значения mAP50 по всем классам визуализированы на рисунке 3.

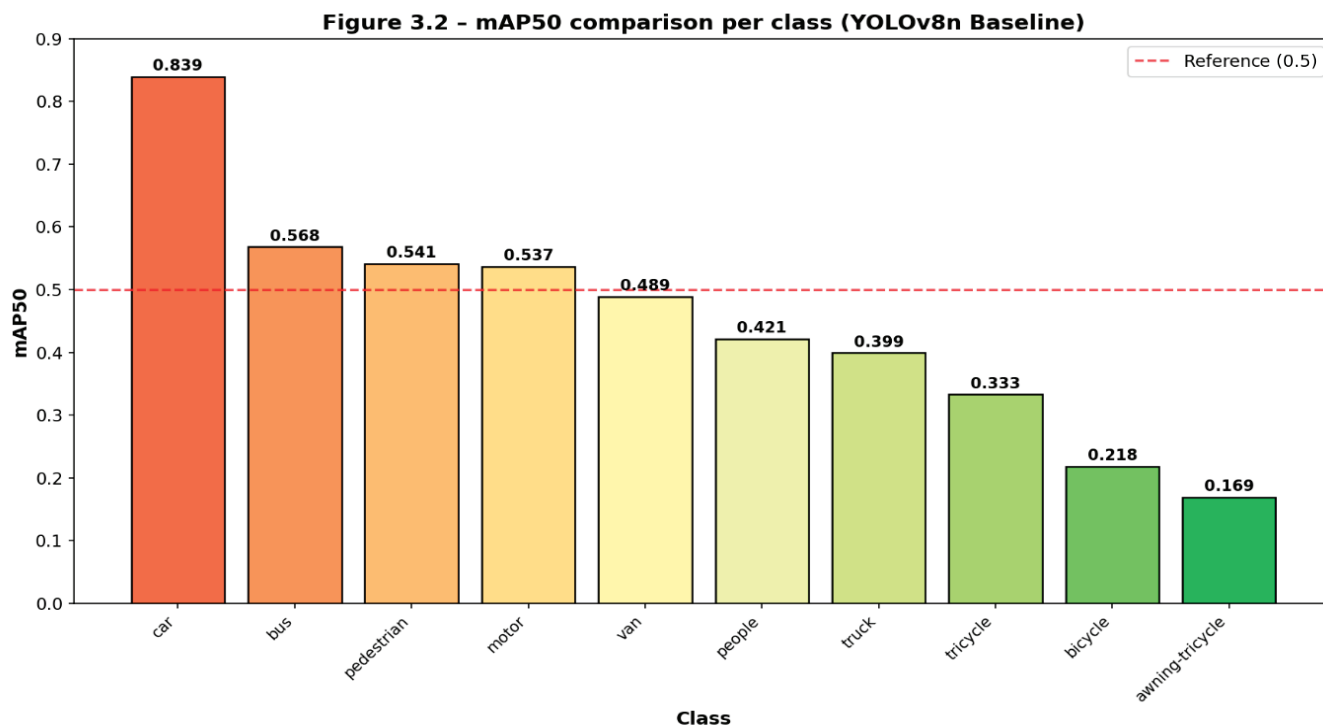


Рис. 3. Диаграмма значений mAP50 для различных классов VisDrone

2. Теоретические основы расширения обучающих данных

Расширение обучающих данных является важным этапом подготовки наборов изображений для обучения нейронных сетей. Традиционно для увеличения разнообразия данных используются методы геометрической и фотометрической аугментации [8]: вращение, масштабирование, отражение, изменение яркости и контрастности, случайное кадрирование, добавление шума. Однако подобные преобразования создают новые варианты уже существующих изображений и не позволяют формировать принципиально новые сцены.

Развитие генеративного искусственного интеллекта позволило использовать иной подход к подготовке данных. Вместо модификации существующих изображений генеративные модели создают новые примеры, сохраняющие статистические характеристики исходного набора данных.

Процесс расширения обучающего набора данных включает несколько последовательных этапов: от исходных реальных изображений до обучения модели на объединённых данных. Общая схема этого процесса представлена на рисунке 4.

Схема включает следующие этапы:

1. Исходные данные (реальные изображения VisDrone)
2. Генеративная модель (Stable Diffusion XL)
3. Синтетические изображения
4. Автоматическая разметка (псевдоразметка)
5. Объединённый обучающий набор
6. Обучение модели YOLOv8

3. Методика исследования

В рамках исследования использовалась генеративная модель **Stable Diffusion XL Base 1.0**, разработанная компанией Stability AI. Модель относится к классу латентных диффузионных моделей и обладает следующими преимуществами:

Figure: Complete Methodology of the Research

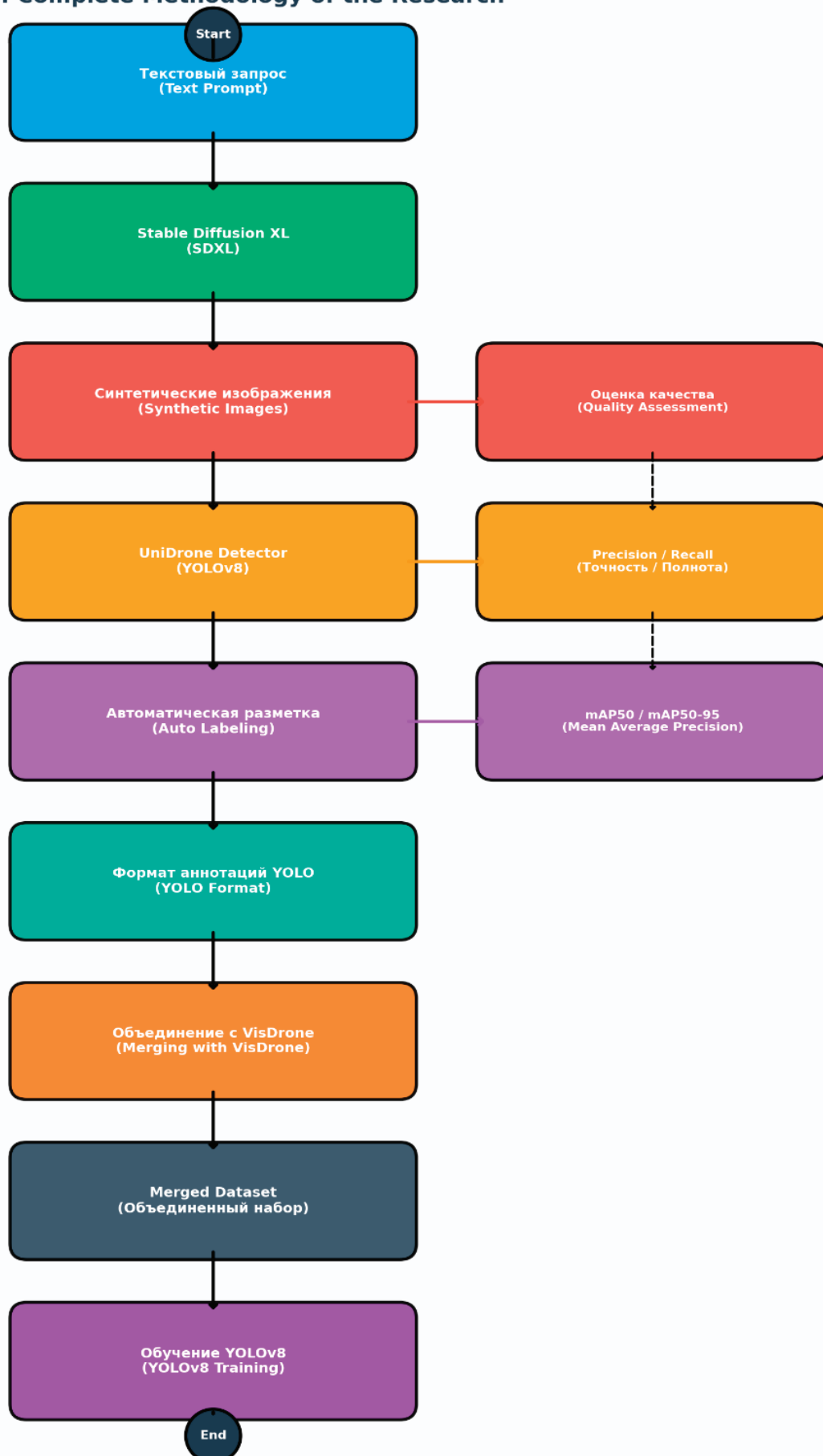


Рис. 4. Общая схема использования генеративных моделей для расширения обучающего набора данных

высокое качество синтезируемых изображений, поддержка генерации сцен высокой детализации, возможность управления содержимым изображения с помощью текстового описания.

3.1 Процесс подготовки данных

Подготовка данных включала несколько этапов:

- 1. **Формирование текстовых запросов** — для обеспечения разнообразия сцен использовалась система комбинирования нескольких категорий: описание объектов (cyclists riding bicycles), тип городской среды (busy downtown intersection, modern city avenue), положение камеры (top-down drone shot, bird’s-eye drone view).
- 2. **Генерация синтетических изображений** — было сгенерировано 500 изображений класса bicycle с использованием Stable Diffusion XL. Параметры генерации: размер 1344×768 пикселей, 50 шагов денойзинга, guidance scale от 4.5 до 9.5.
- 3. **Автоматическая разметка объектов** — выполнялась с использованием предварительно обученной модели UniDrone на основе YOLOv8 с порогом уверенности 0.25 и размером входного изображения 1920 пикселей.
- 4. **Объединение синтетических и исходных данных** — синтетические изображения добавлялись к обучающей выборке VisDrone. Отношение синтетических данных к исходным составило $R = 500/6471 \approx 0.0773$ (7.73 %).

3.2 Обучение модели YOLOv8

Обучение выполнялось на графическом процессоре NVIDIA Tesla T4. Параметры обучения:

- Архитектура: YOLOv8n
- Размер изображения: 1280×1280
- Размер батча: 8
- Количество эпох: 50
- Early stopping: 10 эпох
- Количество классов: 10

Для оценки качества использовались метрики:

- **Precision** = $TP / (TP + FP)$
- **Recall** = $TP / (TP + FN)$
- **mAP50** — средняя точность при IoU = 0.5
- **mAP50–95** — усреднение для порогов IoU от 0.5 до 0.95

4. Результаты экспериментов

Для оценки эффективности предложенного подхода было проведено обучение двух моделей YOLOv8n:

- 1. **Baseline** — обучение только на исходном наборе VisDrone (6471 изображение)
- 2. **Merged** — обучение на расширенном наборе (6471 + 500 синтетических изображений)

4.1 Результаты на валидационном наборе VisDrone

Для оценки эффективности расширенного набора данных было проведено сравнение двух моделей: базовой (Baseline) и обученной на объединённых данных (Merged). Сравнение общих показателей качества представлено в таблице 2.

Таблица 2. Общие результаты на наборе VisDrone Validation

Модель	mAP50	mAP50–95
Baseline	0.4514	0.2744
Merged	0.4541	0.2748
Разница	+0.0027	+0.0004

Относительное изменение mAP50 составило:

$\Delta = (0.4541 - 0.4514) / 0.4514 \times 100 \% \approx 0.60 \%$

На рисунке 5 показана разница между двумя весами до объединения обучающих данных и после объединения

Для более детального анализа влияния синтетических данных на отдельные классы объектов в таблице 3 приведено поклассовое сравнение моделей.

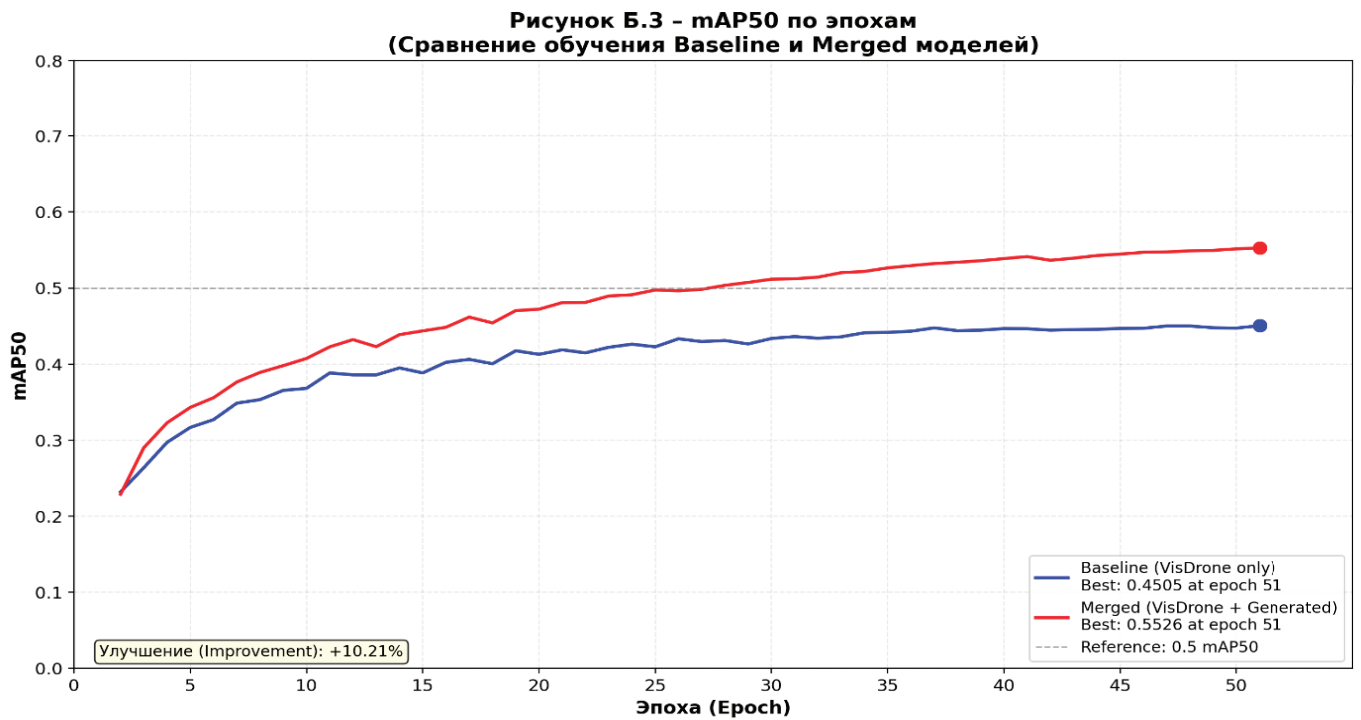


Рис. 5. изменение mAP50

Таблица 3. Поклассовое сравнение моделей (mAP50–95)

Класс	Baseline	Merged	Изменение
pedestrian	0.2600	0.2637	+0.0037
people	0.1690	0.1681	-0.0008
bicycle	0.1053	0.1078	+0.0025
car	0.5945	0.5947	+0.0002
van	0.3554	0.3545	-0.0009
truck	0.2881	0.2856	-0.0025
tricycle	0.1943	0.1919	-0.0023
awning-tricycle	0.1092	0.1063	-0.0028
bus	0.4211	0.4273	+0.0062
motor	0.2472	0.2477	+0.0005

4.2 Результаты на специализированной выборке bicycle

Поскольку основное внимание в исследовании уделяется классу bicycle, в таблице 4 представлены результаты оценки моделей на специализированном подмножестве изображений, содержащих только объекты данного класса.

Таблица 4. Результаты на подмножестве изображений с bicycle

Модель	mAP50 (bicycle)
Baseline	0.2306
Merged	0.2311
Разница	+0.0005

Относительное изменение: $\approx 0.22\%$

С помощью модели Stable Diffusion XL было сгенерировано 500 синтетических изображений велосипедов. Примеры таких изображений приведены на рисунке 6.

Random Sample of Generated Images



Рис. 6. Примеры синтетических изображений

Для сравнения с синтетическими данными на рисунке 7 представлено реальное изображение из набора VisDrone, содержащее объекты класса bicycle.



Рис. 7. Реальное изображение VisDrone

Как показано на рисунках 6 и 7, существует заметное различие между синтетическими изображениями, созданными генеративной моделью, и реальными изображениями из набора VisDrone, что связано с различиями в текстурах, освещении и плотности объектов

После генерации синтетических изображений выполнялась их автоматическая разметка с использованием модели UniDrone. Пример результата автоматической разметки показан на рисунке 8.



Рис. 8. Визуализация результатов автоматической разметки синтетического изображения

4.3 Результаты на внешнем наборе данных UAVDT

Для оценки обобщающей способности модели было выполнено тестирование на внешнем наборе UAVDT [12], содержащем 2500 аэрофотоснимков, отличающихся от VisDrone условиями съёмки, плотностью объектов и масштабами. Результаты сравнения базовой и расширенной моделей приведены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты оценки на наборе UAVDT

Модель	mAP50
Baseline	0.0982
Merged	0.1016
Изменение	+0.0034

Относительное изменение: $\approx 3.46\%$
Для более детального анализа влияния синтетических данных на отдельные классы объектов на внешнем наборе UAVDT в таблице 6 приведено поклассовое сравнение моделей.

Таблица 6. Поклассовое сравнение на UAVDT

Класс	Baseline	Merged	Изменение
pedestrian	0.1466	0.1512	+0.0046
people	0.0214	0.0235	+0.0021
bicycle	0.1267	0.1303	+0.0036

Наиболее заметное улучшение наблюдается для класса bicycle — относительный прирост составил около 2.8 %.

5. Обсуждение результатов

Проведённое исследование показывает, что применение диффузионных моделей может рассматриваться как эффективный инструмент расширения обучающих выборок. В отличие от классических методов аугментации, генеративные модели способны формировать новые комбинации объектов и условий наблюдения.

Основные наблюдения:

1. **Незначительное улучшение на исходном наборе VisDrone** — прирост mAP50 составил всего 0.6 %. Это объясняется тем, что добавлено лишь 500 синтетических изображений (7.7 % от исходного объёма), что недостаточно для кардинального изменения распределения данных.
2. **Более выраженное улучшение на внешнем наборе UAVDT** — прирост 3.5 % свидетельствует о том, что синтетические изображения улучшают способность модели к обобщению. Это особенно важно, поскольку улучшение обобщающей способности обычно достигается значительно сложнее, чем улучшение результатов внутри обучающего распределения.
3. **Неоднородное влияние на разные классы** — улучшение для класса bicycle (+0.0025) сопровождалось небольшим ухудшением для визуально схожих классов tricycle и awning-tricycle. Это может объясняться межклассовой конкуренцией.
4. **Ограничения подхода** — качество автоматической разметки и наличие распределительного сдвига (domain shift) между синтетическими и реальными изображениями остаются ключевыми проблемами.

6. Ограничения и вызовы (Ограничения и вызовы)

Несмотря на полученные результаты, предложенный подход имеет ряд ограничений:

Во-первых, качество синтетических изображений напрямую зависит от точности текстовых запросов и выбранных параметров генерации (guidance scale, количество шагов денойзинга). Неоптимальный выбор этих параметров может приводить к появлению артефактов.

Во-вторых, автоматическая разметка синтетических изображений с использованием предварительно обученной модели вносит шум в обучающие данные. Ошибки локализации bounding boxes и неверная классификация объектов могут накапливаться.

В-третьих, существует проблема распределительного сдвига (domain shift) между синтетическими и реальными изображениями. Даже при высоком визуальном качестве, генеративные модели могут не полностью воспроизводить статистические характеристики реальных аэрофотоснимков.

В-четвёртых, предложенный метод демонстрирует неоднозначное влияние на разные классы объектов. Улучшение обнаружения одного класса может сопровождаться ухудшением для визуально схожих классов.

В-пятых, вычислительная стоимость генерации больших объёмов синтетических данных остаётся высокой. Для создания 500 изображений потребовалось несколько часов работы GPU Tesla T4.

Преодоление перечисленных ограничений является направлением дальнейших исследований, включая разработку более совершенных методов автоматической разметки, применение техник domain adaptation и оптимизацию процесса генерации.

Заключение

В статье исследовано влияние генеративных диффузионных моделей на качество обучающих данных и эффективность обнаружения объектов моделью YOLOv8 на аэрофотоснимках.

Основные результаты:

1. Синтезировано 500 изображений класса bicycle с использованием Stable Diffusion XL.
2. Расширенная выборка (VisDrone + 500 синтетических изображений) позволила повысить mAP50 на 0.6 % на исходном наборе и на 3.5 % на внешнем наборе UAVDT.
3. Наиболее заметное улучшение наблюдается на внешнем наборе данных, что свидетельствует о повышении обобщающей способности модели.
4. Выявлены основные ограничения метода: шум автоматической разметки, распределительный сдвиг, вычислительная сложность.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения генеративных моделей в задачах компьютерного зрения и дальнейшего развития методов автоматизированного формирования обучающих данных.

Литература:

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. — Cambridge: MIT Press, 2016. — 800 p.
2. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. — 2018.

3. Bochkovskiy A., Wang C.-Y., Liao H.-Y. M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection // arXiv preprint arXiv:2004.10934. — 2020.
4. Biswas S., Acharjee S., Ali A., Chaudhuri S. S. YOLOv8 based Traffic Signal Detection in Indian Road // Proceedings of 2023 7th International Conference on Electronics, Materials Engineering and Nano-Technology (IEMENTech). — Kolkata, 2023. — DOI: 10.1109/IEMENTech60402.2023.10423520.
5. Jocher G., Chaurasia A., Qiu J. Ultralytics YOLOv8 Documentation. — 2023.
6. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models // Proceedings of the IEEE/CVF CVPR. — 2022. — P. 10684–10695.
7. Podell D., English Z., Lacey K. et al. SDXL: Improving Latent Diffusion Models for High-Resolution Image Synthesis // arXiv:2307.01952. — 2023.
8. Shorten C., Khoshgoftaar T. M. A Survey on Image Data Augmentation for Deep Learning // Journal of Big Data. — 2019. — Vol. 6, No. 60. — DOI: 10.1186/s40537-019-0197-0.
9. Zhu P., Wen L., Du D. et al. Vision Meets Drones: A Challenge // International Journal of Computer Vision. — 2021. — Vol. 129. — P. 1604–1622.
10. Du D., Zhu P., Wen L. et al. VisDrone-DET2019: The Vision Meets Drone Object Detection Challenge Results // Proceedings of ICCV Workshops. — 2019.
11. Lin T.-Y., Goyal P., Girshick R. et al. Focal Loss for Dense Object Detection // IEEE TPAMI. — 2020. — Vol. 42, No. 2. — P. 318–327.
12. Du D., Wen L., Zhang Z. et al. The Unmanned Aerial Vehicle Benchmark: Object Detection and Tracking // Proceedings of ECCV Workshops. — 2018. (UAVDT)

Разработка программного средства для анализа рациона питания и тренировок пользователей

Ершов Павел Андреевич, студент

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

В статье рассматривается разработка программного средства для анализа рациона питания и тренировок пользователей. Описана проблема отсутствия комплексных решений, объединяющих учёт питания и физической активности с получением персонализированных рекомендаций. Представлено микросервисное решение на Python (Django, FastAPI) и TypeScript (React). Описаны асинхронная обработка данных через Redis и Celery, а также формирование аналитических выводов на базе языковой модели GigaChat. Уделено внимание проектированию базы данных в PostgreSQL, полнотекстовому поиску и визуализации статистики.

Ключевые слова: программная инженерия, анализ данных, дневник питания, учёт физической активности, микросервисная архитектура, Python, Django, FastAPI, TypeScript, React, PostgreSQL, Redis, Celery, GigaChat.

Development of software for analyzing users' diets and exercise routines

The article discusses the development of a software tool for analyzing the diet and training of users. The problem of the lack of comprehensive solutions combining nutrition and physical activity accounting with personalized recommendations is described. A microservice solution in Python (Django, FastAPI) and TypeScript (React) is presented. Asynchronous data processing via Redis and Celery is described, as well as the formation of analytical conclusions based on the GigaChat language model. Attention is paid to database design in PostgreSQL, full-text search and visualization of statistics.

Keywords: software engineering, data analysis, nutrition diary, physical activity accounting, microservice architecture, Python, Django, FastAPI, TypeScript, React, PostgreSQL, Redis, Celery, GigaChat.

Введение

Одной из ключевых проблем остаётся низкая мотивация пользователей к систематическому контролю пи-

тания и физической активности. Большая часть времени уходит на рутинные процессы: ручной поиск калорийности продуктов, расчёт баланса белков, жиров и углеводов, фиксацию тренировочных показателей.

Внедрение больших языковых моделей создаёт соблазн полной автоматизации этих процессов нейросетями. Однако генерация рекомендаций без учёта реальных данных пользователя часто приводит к противоречивым и потенциально опасным советам.

Разработка программного средства, которое оставляет сбор и агрегацию фактических данных детерминированным алгоритмам, а роль ИИ сводит к анализу накопленной статистики, является актуальной задачей.

Основная часть

Организация хранения данных

Для обеспечения целостности и эффективности работы спроектирована реляционная база данных на PostgreSQL. Основные сущности: профиль пользователя, справочники продуктов и упражнений, журналы приёмов пищи и тренировочных сессий. Для ускорения поиска по названию используются GIN-индексы с расширением `pg_trgm`, обеспечивающие полнотекстовый поиск с учётом нечёткого совпадения. Пищевая ценность рецептов рассчитывается автоматически на основе суммирования характеристик ингредиентов. Проблема избыточных запросов к БД при выборке связанных объектов решена с помощью метода `select_related` в Django ORM, который подгружает все необходимые данные одним `join`-запросом.

Логика серверной части

Серверная часть реализована на Python: Django с DRF для сервисов аутентификации и ведения дневников, FastAPI для сервиса аналитики. Микросервисы взаимодействуют по протоколу HTTP с обменом данными в формате JSON. Длительные операции (агрегация данных, формирование аналитических отчётов) вынесены в фоновые задачи с использованием брокера сообщений Redis и очереди задач Celery, что позволяет избежать блокировки пользовательского интерфейса. Для снижения нагрузки на сервер внедрено кэширование часто запрашиваемых данных в Redis с настраиваемым временем жизни и автоматической инвалидацией при изменении данных.

Интеграция с языковой моделью

Для формирования персонализированных рекомендаций используется облачная языковая модель GigaChat. Сервис аналитики агрегирует данные из дневника пользователя за заданный период, формирует структурированный промпт с показателями калорийности, баланса макронутриентов и тренировочной нагрузки, и передаёт его в модель. Ключевая проблема — непредсказуемое время ответа LLM (до нескольких десятков секунд). Решение: запросы к GigaChat помещаются в очередь Celery,

пользовательский интерфейс не блокируется, результат сохраняется в БД и доставляется асинхронно. Такой подход сочетает детерминированный расчёт фактических показателей с генеративными возможностями ИИ, исключая риск галлюцинаций при работе с числовыми данными.

Результаты

Апробация показала, что предложенные архитектурные решения — микросервисное разделение, асинхронная обработка через Celery, кэширование в Redis и оптимизированные запросы к PostgreSQL — обеспечивают высокую производительность и стабильность работы системы.

На рисунке 1 представлен интерфейс главного экрана. На нём отображается сводная информация о прогрессе пользователя: текущее потребление калорий относительно дневной нормы, количество тренировок за неделю. Также на главном экране расположен модуль интеллектуальной аналитики. После нажатия кнопки «Сгенерировать отчёт» система создаёт фоновую задачу, а по готовности отображает результат в виде текстовых рекомендаций с общей оценкой рациона и тренировок, набором питания (калорийность, белки, жиры, углеводы) и тренировочного процесса (частота занятий, объём нагрузки, прогресс).

На рисунке 2 представлены основные интерфейсы разработанного программного средства. Левая часть иллюстрирует дневник питания: пользователь фиксирует приёмы пищи с автоматическим расчётом калорийности и баланса белков, жиров и углеводов. В данном примере показан рацион за день с перечнем потреблённых продуктов и их пищевой ценностью. Правая часть демонстрирует дневник тренировок с детализацией конкретной тренировочной сессии. Пользователь видит общие показатели (тоннаж, максимальный вес, интенсивность, количество подходов и повторений), а также детальную информацию по каждому упражнению и подходу. Система автоматически рассчитывает все метрики на основе введённых данных.

Заключение

Разработанное программное средство решает задачу комплексного учёта питания и физической активности. Микросервисная архитектура на базе Python и TypeScript с оптимизированными запросами к PostgreSQL и кэшированием в Redis обеспечила высокую производительность. Формирование аналитических выводов на основе агрегированных данных дневника гарантирует безопасность и обоснованность рекомендаций. Автоматизированный сбор метрик с интеллектуальной интерпретацией позволяет пользователю фокусироваться на достижении целей без погружения в сложные расчёты.

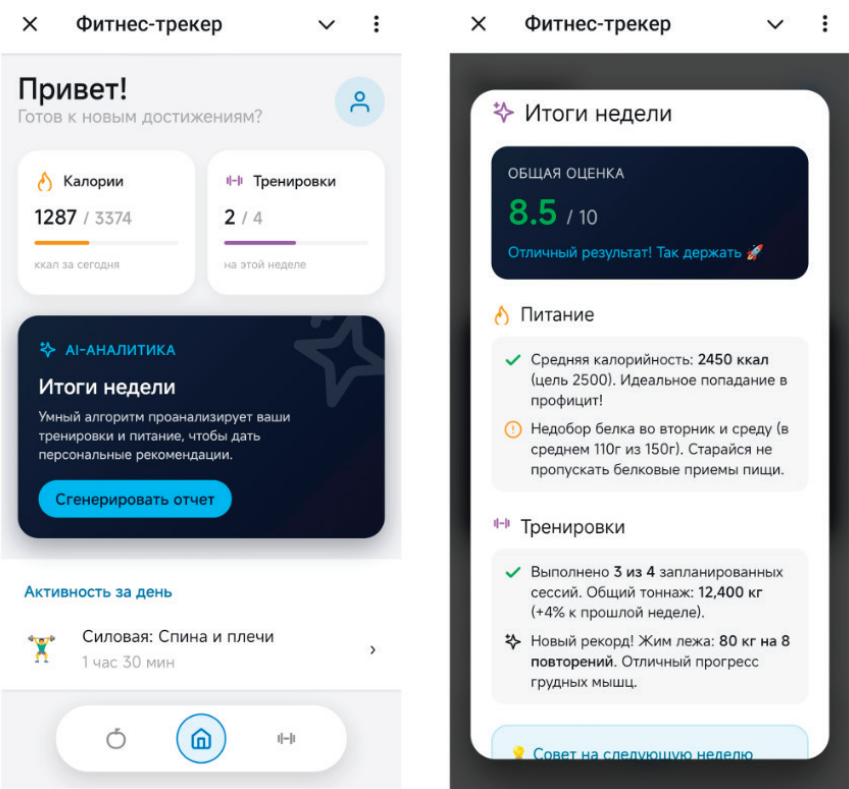


Рис. 1. Пользовательский интерфейс главного экрана

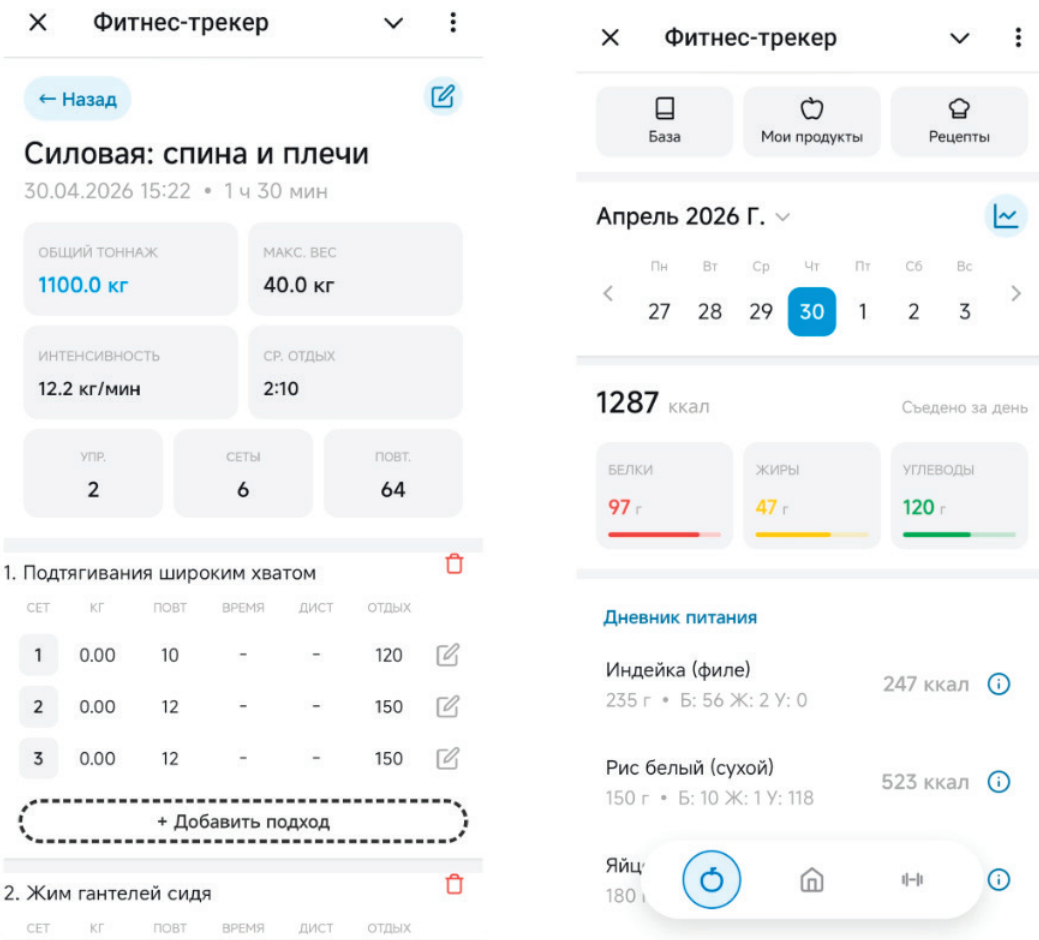


Рис. 2. Пользовательские интерфейсы дневника питания (слева) и дневника тренировок (справа)

Литература:

1. Руководство по интеграции Сбер GigaChat: GigaChat API. [Электронный ресурс]. URL: <https://developers.sber.ru/docs/ru/gigachat/guides/main> (дата обращения: 06.06.2026).
2. Официальная документация фреймворка Django. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.djangoproject.com/> (дата обращения: 06.06.2026).
3. Официальная документация языка TypeScript. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.typescriptlang.org/docs/> (дата обращения: 06.06.2026).
4. Официальная документация PostgreSQL. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 06.06.2026).
5. Официальная документация Redis. [Электронный ресурс]. URL: <https://redis-docs.ru/> (дата обращения: 06.06.2026).
6. Официальная документация Celery. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.celeryq.dev/en/stable/> (дата обращения: 06.06.2026).
7. Тутельян В. А. Нутрициология: полное руководство для практикующих специалистов по питанию / В. А. Тутельян, Д. Б. Никитюк, А. В. Погожева. — Москва: Эксмо, 2025. — 431 с.
8. Уилмор Дж. Х. Физиология спорта / Дж. Х. Уилмор, Д. Л. Костилл; пер. с англ. — Киев: Олимпийская литература, 2001. — 503 с.

Влияние искусственного интеллекта на рынок IT-специалистов

Калмыков Тимур Александрович, сотрудник;
Шевченко Ольга Ивановна, кандидат педагогических наук, сотрудник;
Шевченко Оксана Ивановна, кандидат экономических наук, доцент
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации (г. Орел)

В данной статье рассматриваются причины спада численности актуальных вакансий в сфере IT-продуктов и вероятность необходимости IT-сотрудникам начинать поиск новой работы. Также приводятся различные показатели статистики с сайтов по размещению вакансий, в которых наблюдается тенденция на уменьшение спроса на специалистов в IT-сфере. Рассматриваются ИИ-инструменты, которые повышают производительность труда, позволяя сотрудникам экономить время на решение рутинных задач и уменьшая порог входа в профессию. Анализируется структура IT-рынка в России и на мировом уровне, состояние на актуальное время и его дальнейшее будущее.

Ключевые слова: искусственный интеллект, программирование, трудоустройство, экономика, современные технологии, информатика.

The impact of artificial intelligence on the market of IT specialists

Kalmykov Timur Aleksandrovich, employee;
Shevchenko Olga Ivanovna, candidate of pedagogical sciences, staff member;
Shevchenko Oksana Ivanovna, candidate of economic sciences, associate professor
Academy of the Federal Service for the Protection of Russia (Eagle)

This article examines the reasons for the decline in the number of current vacancies in the field of IT products and the likelihood that IT employees will need to start looking for a new job. There are also various statistics indicators from job placement sites, which show a tendency to decrease the demand for IT specialists. The article considers AI tools that increase labor productivity, allowing employees to save time on solving routine tasks and reducing the threshold for entering the profession. The article analyzes the structure of the IT market in Russia and at the global level, the current state and its future.

Keywords: artificial intelligence, programming, employment, economics, modern technologies, computer science.

Профессия IT-специалиста долгие годы показывала прост вакансий на рынке труда. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (далее: Минцифры) сообщило, что в 2025 году численность работников IT-отрасли в РФ достигла порядка 1,15 млн человек. «IT-отрасль стала

главным драйвером роста занятости в IT-секторе. Численность работников достигла порядка 1,15 млн человек. Годовой прирост составил 153 тыс. человек (+15,4 %), за квартал — 17,2 тыс. человек (+1,5 %). Уровень оплаты труда также продолжает расти. К концу 3 квартала 2025 года средняя заработная плата в отрасли достигла 196,5

тыс. рублей (+11,5 % к показателю 2024 года). ИТ-отрасль остаётся одной из ключевых сегментов экономики и продолжает демонстрировать рост по основным показателям», — пояснили в Минцифры [1]. С другой стороны, на американском рынке труда немного иная ситуация. Бурный рост 2021–2022 годов сменился сначала резким торможением, а потом и реальным спадом. По оценке экономиста Джозефа Политано на основе данных Bureau of Labor Statistics (далее: BLS — Федеральное бюро статистики США), в январе 2026 tech-сектор США потерял 12 тысяч рабочих мест, а за год — 57 тысяч. Одновременно официальный отчет BLS за февраль 2026 года показывает, что занятость в секторе information сократилась еще на 11 тысяч, а за предыдущие 12 месяцев отрасль в среднем потеряла по 5 тысяч рабочих мест в месяц.

Задачи, которые может решать ИИ за человека

За последние три года технологии искусственного интеллекта смогли сделать большой шаг вперед. ИИ помогает художникам создавать картины, музыкантам писать композиции, копирайтерам анализировать тексты. ИТ-специалистов тоже коснулась «ИИ-лихорадка». Современные помощники позволяют существенно ускорить разработку приложений. Если раньше автоматизация в программировании ограничивалась системами автодополнения кода и готовыми библиотеками, то сегодня разработчики всё чаще используют полноценные ИИ-ассистенты, которые могут писать код, анализировать ошибки, генерировать документацию и даже помогать в архитектуре программных систем. Данные инструменты постепенно внедряются в повседневную деятельность программистов и меняют саму логику разработки программного обеспечения. Одним из наиболее известных инструментов является GitHub Copilot — ассистент для программирования, встроенный в популярные среды разработки. Он анализирует код проекта и предлагает разработчику готовые фрагменты функций, алгоритмов или тестов прямо во время набора текста. Не стоит забывать и про всем полюбившийся ChatGPT, который помогает разобраться в сложных задачах, алгоритмах, блоках кода.

Практика показывает, что ИИ-помощники особенно полезны при выполнении повторяющихся задач. Например, при создании стандартных API-методов, генерации тестов или написании документации разработчику достаточно описать задачу несколькими словами, после чего языковая модель предложит готовый код. Группа исследователей из Edmonds Commerce Research Team провела эксперимент, в котором разработчики подразделялись на две группы и соревновались в написании кода [2]. Одним было разрешено использовать нейросеть Copilot, а другим — нет. Разработчики с нейросетью выполняли задачи в среднем на 55 % быстрее, чем без него. Это связано с тем, что большая часть времени программистов уходит не на разработку сложной логики, а на написание типовых блоков кода. Автоматизация этих операций по-

зволяет сосредоточиться на архитектуре и решении более сложных задач. Стоит отметить, что 46 % кода принималось без изменений, что является практически половиной. Это означает, что нейросеть способна выдавать качественный результат без вмешательства человека, что поможет сэкономить время. По итогам эксперимента исследователи пришли к выводу, что ИИ можно использовать для обучения младших разработчиков и ускорения создания продукта, но отказываться от живых специалистов пока рано.

ИИ-ассистенты активно используются и в других этапах разработки. Они помогают находить ошибки, анализируя код и предлагая исправления, генерируют юнит-тесты для новых функций и могут объяснять фрагменты чужого кода. В некоторых командах такие инструменты применяются даже на этапе обучения сотрудников. По данным исследований, внедрение ИИ-инструментов способно сократить время адаптации новых разработчиков примерно на 40 %, поскольку начинающие специалисты быстрее понимают структуру проекта и получают подсказки прямо в процессе работы.

Статистика показывает, что использование подобных инструментов быстро растёт. По различным опросам, около 84 % разработчиков уже используют или планируют использовать ИИ-инструменты, а примерно половина специалистов применяет их ежедневно [3]. Более того, аналитические отчёты оценивают, что до 41 % кода в современных проектах может быть сгенерировано с помощью ИИ, хотя разработчики почти всегда проверяют и дорабатывают такие фрагменты. Поэтому ИИ-ассистенты не заменяют программистов полностью. Несмотря на высокую скорость генерации кода, специалисты всё равно должны проверять результаты, исправлять ошибки и принимать архитектурные решения. Некоторые исследования даже показывают, что опытные разработчики иногда тратят больше времени на проверку автоматически созданного кода, чем на его написание вручную. Тем не менее большинство специалистов рассматривают ИИ не как замену человеку, а как инструмент повышения эффективности.

Влияние ИИ на рынок труда

Появление и стремительное развитие ИИ не могло не повлиять на рынок ИТ-специальностей во всем мире, особенно в России, где динамика вакансий и конкуренции хорошо отслеживается через метрику hh.ru — hh-индекс. Он показывает соотношение количества резюме к числу вакансий. Чем выше показатель, тем выше конкуренция между кандидатами. Судя по данным hh.ru, за период 2024–2026 годов рынок ИТ в России претерпел существенные изменения. Если ранее наблюдался дефицит специалистов, то теперь ситуация изменилась в противоположную сторону. В 2024 году hh-индекс находился на уровне около 9–10 (рис. 1), что означало относительно умеренную конкуренцию. Однако уже в течение 2025 года показатель начал стремительно расти, достигнув к концу

года значения около 20, а в начале 2026 года оставаясь на уровне 19–21 (рис. 2). Это означает, что на одну вакансию в среднем приходится до двадцати кандидатов, тогда как

ещё несколько лет назад их было в несколько раз меньше. Таким образом, рынок труда перешёл от состояния дефицита кадров к ситуации избытка специалистов.

Динамика hh.индекса

Показывает соотношение количества активных резюме к количеству активных вакансий на рынке в выбранной профобласти

- Значения Индекса:
- меньше или равно 1.9 — острый дефицит соискателей
 - 2.0–3.9 — дефицит соискателей
 - 4.0–7.9 — умеренный уровень конкуренции за рабочие места, здоровое соотношение между работодателями и соискателями
 - 8.0–11.9 — высокий уровень конкуренции соискателей за рабочие места, рынок работодателя
 - больше или равно 12 — крайне высокий уровень конкуренции соискателей за рабочие места

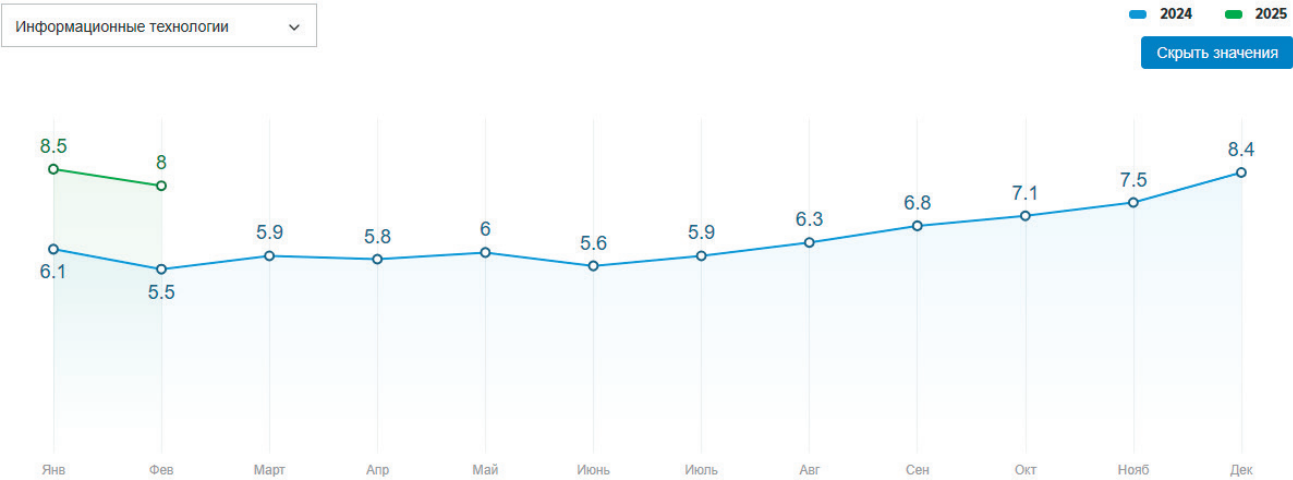


Рис. 1. Динамика hh-индекса за 2024–2025 гг.

Динамика hh.индекса

Показывает соотношение количества активных резюме к количеству активных вакансий на рынке в выбранной профобласти

- Значения Индекса:
- меньше или равно 1.9 — острый дефицит соискателей
 - 2.0–3.9 — дефицит соискателей
 - 4.0–7.9 — умеренный уровень конкуренции за рабочие места, здоровое соотношение между работодателями и соискателями
 - 8.0–11.9 — высокий уровень конкуренции соискателей за рабочие места, рынок работодателя
 - больше или равно 12 — крайне высокий уровень конкуренции соискателей за рабочие места



Рис. 2. Динамика hh-индекса за 2025–2026 гг.

Одновременно с ростом конкуренции наблюдается снижение количества вакансий. По данным hh.ru, в 2024–2025 годах число вакансий в ИТ сократилось примерно на четверть, а в отдельные периоды падение достигало почти 30 % по сравнению с предыдущим годом. При этом количество резюме, наоборот, увеличилось примерно на 25–30 %. Такая

разнонаправленная динамика усилила давление на рынок труда и привела к значительному росту конкуренции. Графики показывают, что почти весь 2025 год сопровождался отрицательной динамикой вакансий, с редкими кратковременными всплесками роста, а в начале 2026 года появились лишь слабые признаки восстановления (рис. 3).

Динамика вакансий

Информационные технологии

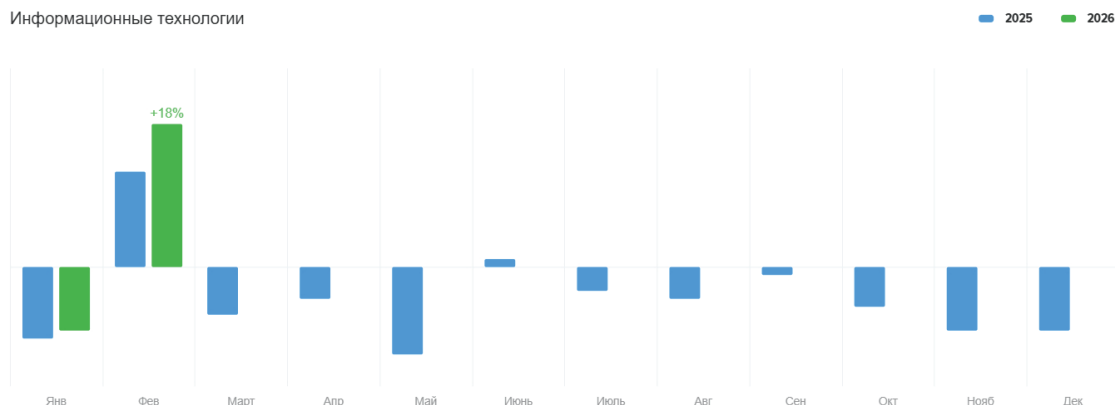


Рис. 3. Динамика вакансий за 2025–2026 гг.

ИИ сыграл не последнюю роль в формировании данной статистики. Нейросети помогают людям автоматизировать привычные, базовые, шаблонные действия и решать легкие задачи. В результате компании могут выполнять тот же объем работы меньшими командами, что снижает потребность в найме. Особенно сильно это влияет на начинающих специалистов, поскольку именно их задачи чаще всего поддаются автоматизации. Работодатели всё чаще отдают предпочтение более опытным и универсальным сотрудникам, способным эффективно использовать ИИ-инструменты.

С другой стороны, более детальный анализ показывает, что ситуация не столь однозначна. Данные из статьи на CNews частично опровергают тезис о «сжатии рынка» под влиянием искусственного интеллекта и указывают на его структурное изменение, а не упадок [4]. В частности, согласно исследованию, потребность российской экономики в кадрах в сфере искусственного интеллекта в 2025 г. увеличилась примерно на 18 %. При этом общее число вакансий, связанных с ИИ, достигло почти 200 тысяч против 170 тысяч годом ранее. Это означает, что даже на фоне общего снижения ИТ-вакансий рынок не сокращается полностью, а перераспределяется в пользу новых направлений. Более того, с 2022 года спрос на таких специалистов вырос вдвое, что указывает на устойчивый долгосрочный тренд, а не вре-

менный всплеск. Дополнительные данные подтверждают этот вывод. Например, количество вакансий с требованиями навыков работы с ИИ в России в 2025 году увеличилось почти на 90 %, а компании стали искать таких специалистов в два раза чаще, чем годом ранее. Важно учитывать, что рост спроса на ИИ-навыки выходит далеко за пределы классического ИТ. Например, в продажах число вакансий с требованиями работы с ИИ выросло на 158 %, а в маркетинге — более чем в два раза. Это показывает, что искусственный интеллект не только трансформирует ИТ-рынок, но и расширяет его границы, вовлекая новые профессии и отрасли.

Появление ИИ несомненно внесло свои коррективы в нашу жизнь, где-то она стала проще, мы стали перекладывать рутинные задачи на цифровых помощников, но есть и обратная сторона медали — вытеснение молодых сотрудников с рынка труда в сфере ИТ и увеличение конкуренции среди кандидатов. По итогу можно сделать вывод, что изменение на рынке труда зависит не только от появления ИИ, но и от ряда других факторов. Очевидно, что произошла трансформация в сфере найма, теперь многим профессиям требуются знания и умения по грамотному применению ИИ, но на данный момент искусственный интеллект не способен заменить человека. Он всего лишь перевел сферу информационных технологий на новый уровень.

Литература:

1. Объем продаж разработчиков ПО за год вырос на треть. — Текст: электронный // Минцифры: [сайт]. — URL: <https://digital.gov.ru/news/obyom-prodazh-razrabotchikov-po-za-god-vyros-na-tret> (дата обращения: 01.05.2026).

2. Исследовательская, группа Edmonds Commerce Исследование продуктивности GitHub Copilot: научно обоснованный анализ влияния ИИ на парное программирование / группа Edmonds Commerce Исследовательская. — Текст: электронный // Edmonds Commerce: [сайт]. — URL: <https://edmondscommerce.co.uk/research/ai/github-copilot/> (дата обращения: 11.04.2026).
3. 100 лучших статистических данных о продуктивности разработчиков с использованием инструментов на основе искусственного интеллекта (2026). — Текст: электронный // Index: [сайт]. — URL: <https://www.index.dev/blog/developer-productivity-statistics-with-ai-tools> (дата обращения: 08.04.2026).
4. Антон, Денисенко Спрос на ИИ-специалистов в России растет быстрее предложения. Опубликовано почти 200 тысяч вакансий / Денисенко Антон. — Текст: электронный // CNews: [сайт]. — URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-12-30_v_2025_godu_spros_na_ii-spetsialistov (дата обращения: 11.04.2026).

Кибербезопасность для школьников

Крбашян Элина Эдуардовна, учитель информатики
МОБУ СОШ № 18 г. Сочи (Краснодарский край)

В современном мире информационные технологии стали неотъемлемой частью нашей жизни. Мы ежедневно используем интернет для обучения, общения и развлечений. Однако вместе с возможностями, которые даёт нам цифровой мир, появляются и новые опасности.

Кибербезопасность — это система защиты компьютерных сетей и информации от несанкционированного доступа, кражи данных, вредоносных программ и других киберугроз. Для школьников особенно важно понимать основные правила безопасной работы в интернете, так как они являются наиболее уязвимой группой пользователей. [1, с.12]

Целью данной статьи является ознакомление учащихся средней школы с основными угрозами в цифровом пространстве и практическими методами защиты своих личных данных.

Мы — первое поколение, которое живёт в двух мирах одновременно: физическом и цифровом. В реальном мире нас учат не разговаривать с незнакомцами и смотреть по сторонам перед переходом дороги. В цифровом — часто бросают в свободное плавание без спасательного жилета. А зря. По данным МВД, каждый третий киберпреступник нацелен именно на подростков. Почему? Потому что у школьников есть деньги на карманные расходы, доступ к аккаунтам родителей и доверчивость.

Давайте разберём 5 главных угроз и правила цифровой гигиены.

1. Фишинг — это ловкое извлечение личных данных посредством поддельных электронных писем или сайтов. Например, обучающийся может получить предложение от якобы какого-то сервиса и ввести свои данные, не догадываясь о мошенничестве. [2, с.21]

- **Пример:** «Вы выиграли айфон!» (нет, не выиграли)
- Вы получаете сообщение: «Твой аккаунт взломают, перейди по ссылке и введи пароль!» Или: «Бесплатные скины в PUBG (или аналог) — только сегодня!».

- **Как работает злодей?** Он создаёт точную копию страницы VK, Госуслуг или Steam. Вы вводите логин и пароль — и отдаёте их мошеннику лично в руки.

- **Правило № 1:** Никогда не переходите по ссылкам из подозрительных писем и сообщений, даже от имени «техподдержки». Настоящие сервисы никогда не просят пароль по ссылке.

- **Что делать?** Вбить адрес сайта вручную в поисковую строку.

2. Социальная инженерия: Друг просит деньги? Позвони ему!

Самый опасный вид взлома — это взлом не компьютера, а человека. Злоумышленник взламывает аккаунт вашего одноклассника и пишет всем в друзьях: «Срочно кинь 500 рублей, потом верну».

- **Правило № 2:** Золотое правило — «Услышь голос, увидь лицо». Если друг в мессенджере просит деньги или код из СМС — позвоните ему по видеосвязи или обычному звонку. В 99 % случаев выяснится, что это мошенник.

3. Пароли: «123456» — это не пароль, это приглашение. Самые популярные пароли в мире: qwerty, password, 12345678, а также дата рождения и кличка кота.

Хакеру с простенькой программой достаточно 5 минут, чтобы перебрать все эти варианты.

- **Правило № 3:**

- 1) Пароль должен быть длинным (от 12 символов).
- 2) Использовать буквы в разном регистре, циф.

Социальный урбанистический пейзаж, но это не совсем то. Лучше использовать случайный набор символов, который вы сможете запомнить. Например, можно взять первые буквы слов из любимой песни или фразы, добавив к ним цифры и символы. [3, с.45]

4. Вредоносное ПО (вирусы, трояны): Не скачивай всё подряд!

Вирусы могут попасть на ваш компьютер или телефон через скачанные файлы, программы, игры или даже

при посещении зараженных сайтов. Они могут украсть ваши данные, повредить систему или использовать ваше устройство для рассылки спама.

– **Пример:** Вы скачиваете бесплатную игру, а вместе с ней устанавливается программа, которая записывает всё, что вы набираете на клавиатуре, включая пароли.

– **Правило № 4:** Скачивайте программы и файлы только из проверенных источников. Будьте осторожны с бесплатными версиями платных программ и пиратским контентом. Установите антивирусное ПО и регулярно обновляйте его.

– **Что делать?** Перед скачиванием файла или установкой программы внимательно прочитайте отзывы и проверьте репутацию источника. Если есть сомнения — лучше не рисковать. [4, с.32]

5. Кибербуллинг и онлайн-травля: Не молчи, если тебя обижают!

Это агрессивное преследование, запугивание или унижение человека в интернете. Кибербуллинг может проявляться в виде оскорбительных сообщений, угроз, распространения слухов или личной информации, создания фейковых аккаунтов для травли.

– **Пример:** Кто-то создает в социальной сети страницу с вашим именем и публикует там унижительные комментарии или фотографии, выдавая себя за вас.

– **Правило № 5:** Если вы стали жертвой кибербуллинга, не молчите. Сохраните доказательства (скриншоты сообщений, постов), заблокируйте обидчика и обратитесь за помощью к родителям, учителям или администрации социальной сети. Помните, что вы не одиноки, и есть люди, готовые вам помочь. [5, с.57]

– **Что делать?** Не вступайте в перепалку с обидчиком. Сообщите о произошедшем взрослым, которым вы доверяете. Если возможно, обратитесь в службу поддержки платформы, где происходит травля.

Заключение

Цифровой мир открывает перед нами огромные возможности, но и требует от нас ответственности и бдительности. Соблюдение простых правил цифровой гигиены поможет вам избежать многих опасностей и сделать ваше пребывание в интернете безопасным и продуктивным. Помните, что ваша безопасность в ваших руках!

Литература:

1. Концепция стратегии кибербезопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: <http://council.gov.ru/media/files/41d4b3dfbdb25cea8a73.pdf>
2. Чельшева Ирина Викторовна Кибербезопасность школьников в интернет-пространстве и проблемы семейного медиаобразования // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2016. № 4
3. Методические рекомендации по безопасности в интернете. Роскомнадзор
4. Практическое руководство по кибербезопасности для школьников. Лаборатория Касперского
5. Родионова В. М. Развитие кибербезопасности в эпоху цифровизации: образование в области кибербезопасности для эффективной защиты // Наука и образование в современных условиях. — 2023.

Гибридный поиск архивных документов на основе полнотекстового и семантического анализа

Крылов Дмитрий Эдуардович, студент магистратуры
Тульский государственный педагогический университет имени Л. Н. Толстого

В статье рассматривается гибридный механизм поиска архивных документов, объединяющий полнотекстовый поиск PostgreSQL и семантический поиск на основе векторных представлений. Показана актуальность применения такого подхода для электронного архива вуза, где документы могут отличаться по формату, структуре, полноте метаданных и формулировкам. Описано использование модели Sentence-BERT для формирования эмбедингов документов и запросов, а также применение расширения pgvector для хранения и сравнения векторов в PostgreSQL.

Ключевые слова: архивный документ, электронный архив, гибридный поиск, полнотекстовый поиск, семантический поиск, векторное представление, эмбединг, Sentence-BERT, PostgreSQL, pgvector.

Архивная деятельность высшего учебного заведения связана с приемом, учетом, хранением, поиском и предоставлением документов по внутренним и внешним запросам. В архивные фонды поступают учеб-

но-методические, кадровые, организационно-распорядительные, научные и иные документы, часть которых имеет длительные сроки хранения и используется для подтверждения юридически значимых фактов.

С ростом объема архивных фондов повышаются требования к скорости и точности поиска документов. Сотрудникам архива необходимо работать с большим количеством карточек, описей, электронных копий и сканированных материалов. При этом поиск осложняется неполными метаданными, различиями в формулировках, ошибками распознавания текста и разными форматами хранения документов.

Традиционные механизмы поиска позволяют находить документы по реквизитам или точным текстовым совпадениям. Однако в архивной практике пользователь не всегда знает точное название документа, его номер или дату. Запрос может быть сформулирован по смыслу, а не по конкретным словам, содержащимся в документе. В таких условиях одного полнотекстового поиска недостаточно.

Цель статьи заключается в описании гибридного механизма поиска архивных документов, объединяющего полнотекстовый поиск PostgreSQL и семантический поиск на основе векторных представлений документов. Предлагаемый подход направлен на повышение релевантности выдачи и сокращение времени поиска нужных архивных материалов.

Одной из основных задач электронного архива является обеспечение быстрого и точного доступа к документам. В вузовском архиве эта задача имеет особое значение, поскольку документы используются для внутреннего учета, подготовки справок, подтверждения фактов обучения и трудовой деятельности, выдачи копий и обработки других запросов пользователей.

Поиск по реквизитам эффективен в тех случаях, когда известны точные сведения о документе. Однако на практике запросы часто формулируются неполно. Пользователь может знать только содержание документа или примерную тематику, но не знать его точные реквизиты. В результате поиск только по карточкам документов не всегда обеспечивает нужную полноту выдачи.

Полнотекстовый поиск расширяет возможности системы, поскольку позволяет искать по словам и выражениям, содержащимся в названии, реквизитах и распознанном тексте документа. При этом такой поиск зависит от лексического совпадения между запросом и текстом. Если пользователь использует одну формулировку, а в документе содержится другая, но близкая по смыслу, релевантный документ может не попасть в результаты.

Дополнительным ограничением является качество распознанного текста. В архиве могут храниться не только электронные документы, но и сканированные копии бумажных материалов. После OCR-обработки в тексте возможны ошибки. Поэтому для работы с архивными документами требуется механизм, который учитывает не только точные совпадения слов, но и смысловую близость между запросом и содержанием документа.

Для решения проблемы разработан гибридный механизм поиска. Он объединяет два подхода: полнотекстовый поиск по словам и реквизитам и семантический поиск на основе векторных представлений документов.

Такое сочетание позволяет использовать преимущества обоих методов.

Полнотекстовый поиск реализован средствами PostgreSQL. Для каждого документа в базе данных хранится текстовое представление, полученное из электронного файла или после OCR-распознавания сканированного документа. На основе названия, реквизитов и распознанного текста формируется поисковый вектор `search_vector` типа `tsvector`. При выполнении запроса пользовательская строка преобразуется в поисковое выражение PostgreSQL и сопоставляется с данным вектором. Этот механизм особенно эффективен, когда пользователь знает конкретные данные документа: название, номер, дату, подразделение или **ключевые слова**.

Семантический поиск реализован на основе векторных представлений документов. После получения текстового содержимого документа формируется его эмбединг с использованием модели Sentence-BERT. Эмбединг представляет собой числовой вектор фиксированной размерности, отражающий смысловое содержание текста. Полученные векторы сохраняются в таблице `embeddings` базы данных PostgreSQL с использованием расширения `pgvector`. При выполнении поиска пользовательский запрос также преобразуется в векторное представление, после чего выполняется сравнение вектора запроса с векторами документов.

Для определения степени смысловой близости между запросом и документом используется косинусная мера сходства:

$$\cos(A, B) = (A \cdot B) / (||A|| \cdot ||B||)$$

где A и B — сравниваемые векторы; $A \cdot B$ — скалярное произведение векторов; $||A||$ и $||B||$ — длины, или нормы, соответствующих векторов.

Значение косинусного сходства показывает, насколько близки вектор запроса и вектор документа. Значение, близкое к 1, указывает на высокую смысловую близость; значение, близкое к 0, означает слабую связь между текстами; отрицательные значения указывают на противоположную направленность векторов. Чем выше значение сходства, тем более релевантным считается документ.

Гибридный поиск выполняется путем объединения результатов полнотекстового и семантического поиска. На первом этапе система выполняет полнотекстовый поиск по `search_vector` и определяет документы с точными текстовыми совпадениями. На втором этапе для того же запроса формируется эмбединг, после чего выполняется семантический поиск по векторам документов, сохраненным с использованием `pgvector`. В результате формируются два набора найденных документов.

На следующем этапе результаты объединяются. Если один и тот же документ найден обоими методами, он получает более высокий приоритет, поскольку соответствует запросу одновременно по текстовому совпадению и по смысловой близости. Документы, найденные только одним методом, также включаются в итоговую выдачу, однако их релевантность определяется по соответствующей

щему показателю: текстовой релевантности для полнотекстового поиска или косинусному сходству для семантического поиска.

Итоговая выдача сортируется по степени релевантности. В пользовательском интерфейсе найденные документы отображаются в виде списка с указанием типа совпадения и уровня релевантности. Такой подход позволяет находить документы как по прямым совпадениям в тексте, так и по смысловой близости, что особенно важно при работе с большими архивными фондами, неполными метаданными и различными формулировками пользовательских запросов.

Гибридный механизм поиска обеспечивает более гибкий и точный доступ к архивным документам. Полнотекстовый поиск сохраняет эффективность при работе с точными реквизитами и ключевыми словами, а семантический поиск расширяет возможности системы за счет учета смыслового содержания документа.

Объединение результатов двух методов позволяет повысить релевантность выдачи и снизить вероятность пропуска документа, близкого к запросу по смыслу. Следовательно, предложенный подход может быть использован как один из ключевых элементов интеллектуализированной системы электронного архива вуза.

Литература:

1. Балдин, А. Обработка архивной информации в цифровом университете / А. Балдин, Д. Елисеев. — Текст: непосредственный // ITM Web of Conferences. — 2020. — № 35.
2. Векторный поиск внутри PostgreSQL: что умеет и где может пригодиться pgvector. — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/920824/> (дата обращения: 11.06.2026).
3. Как мы внедрили векторный поиск в Postgres Pro. — Текст: электронный // Хабр: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/postgrespro/articles/919552/> (дата обращения: 11.06.2026).

Разработка мобильного приложения для анализа боксерских тренировок на основе методов компьютерного зрения

Кулик Регина Сергеевна, студент

Научный руководитель: Малинин Анатолий Николаевич, старший преподаватель

Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева (г. Москва)

В статье рассматривается разработка мобильного приложения для автоматизированного анализа боксерских тренировок с применением технологий компьютерного зрения. Предлагаемое решение выполняет локальную обработку видеоданных на мобильном устройстве, определяет удары спортсмена и вычисляет базовые тренировочные показатели. В работе исследуется применение алгоритмов распознавания позы человека и анализа движений рук на основе MediaPipe и OpenCV. Особое внимание уделяется механизму детекции ударов, использующему временной анализ последовательности кадров и систему коэффициентов чувствительности. Рассматриваются преимущества локального анализа видео, ограничения метода и факторы, влияющие на точность распознавания.

Ключевые слова: мобильная разработка, компьютерное зрение, анализ видео, MediaPipe, OpenCV, машинное обучение, бокс, детекция движений, мобильные приложения.

Development of a mobile app for analyzing boxing training sessions using computer vision techniques

Kulik Regina Sergeevna, student

Scientific advisor: Malinin Anatoly Nikolayevich, senior lecturer

Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after KA Timiryazev

This article discusses the development of a mobile application for automated boxing training analysis using computer vision technologies. The proposed solution performs local video data processing directly on a mobile device, detects athletes' punches, and calculates basic training indicators. The study examines the application of human pose estimation and hand motion analysis algorithms based on MediaPipe and OpenCV. Particular attention is paid to the punch detection mechanism, which uses temporal analysis of frame sequences and a system of sensitivity coefficients. The advantages of local video analysis, methodological limitations, and factors affecting recognition accuracy are also considered.

Keywords: mobile development, computer vision, video analysis, MediaPipe, OpenCV, machine learning, boxing, motion detection, mobile applications.

В современных условиях методы компьютерного зрения активно применяются в спортивной аналитике [1]. Автоматизированная обработка видеоданных позволяет количественно оценивать тренировочную активность спортсменов без применения специализированного оборудования. Особую актуальность данный подход приобретает в единоборствах.

Целью настоящей работы является разработка мобильного приложения для анализа боксерских тренировок, функционирующего непосредственно на мобильном устройстве пользователя без обращения к внешним облачным сервисам. Приложение предназначено для обработки видеозаписей тренировочного процесса, определения ударных движений и расчета базовых боксерских показателей.

Пользователь может записать тренировку через камеру смартфона либо загрузить готовое видео, после чего выполняется анализ и отображение результатов.

Обработка видеоданных осуществляется покадрово. Видеопоток разбивается на последовательность кадров, которые передаются в модуль компьютерного зрения. Для решения задачи распознавания движений используется комбинированный подход, основанный на библиотеках MediaPipe и OpenCV [2, 3]. MediaPipe Hands используется для распознавания кистей, MediaPipe Pose — для анализа положения тела и суставов, а OpenCV обеспечивает обработку видеопотока [2, 3]. Архитектурная схема взаимодействия основных модулей мобильного приложения приведена на рисунке 1.

Распознавание ударов осуществляется по временной последовательности кадров, что позволяет учитывать

скорость движения руки, изменение положения суставов и интервалы между действиями [4].

Алгоритм детекции удара основан на анализе нескольких признаков: положения кулака, скорости перемещения запястья и разгибания руки относительно локтя [2, 5]. Логика определения ударного действия на основе анализа временной последовательности кадров показана на рисунке 2.

В реальных условиях видеосъемки кисть спортсмена может частично перекрываться корпусом, боксерскими перчатками либо выходить из зоны уверенного распознавания. Для повышения устойчивости алгоритма используется резервный механизм детекции, основанный на данных MediaPipe Pose. В этом случае основным источником информации становятся координаты суставов руки и оценка кинематических изменений положения конечности.

Коэффициенты чувствительности позволяют адаптировать алгоритм к различным условиям съемки. Используются пороговые значения временного интервала между ударами, скорости движения и смещения запястья, что снижает вероятность ложных срабатываний.

Результатом обработки видеозаписи является набор аналитических показателей. Приложение вычисляет количество ударов, длительность тренировки. На основе временных меток кадров и параметров движения руки могут быть рассчитаны дополнительные аналитические показатели.

Одним из преимуществ предлагаемого решения является локальная обработка данных. В отличие от об-

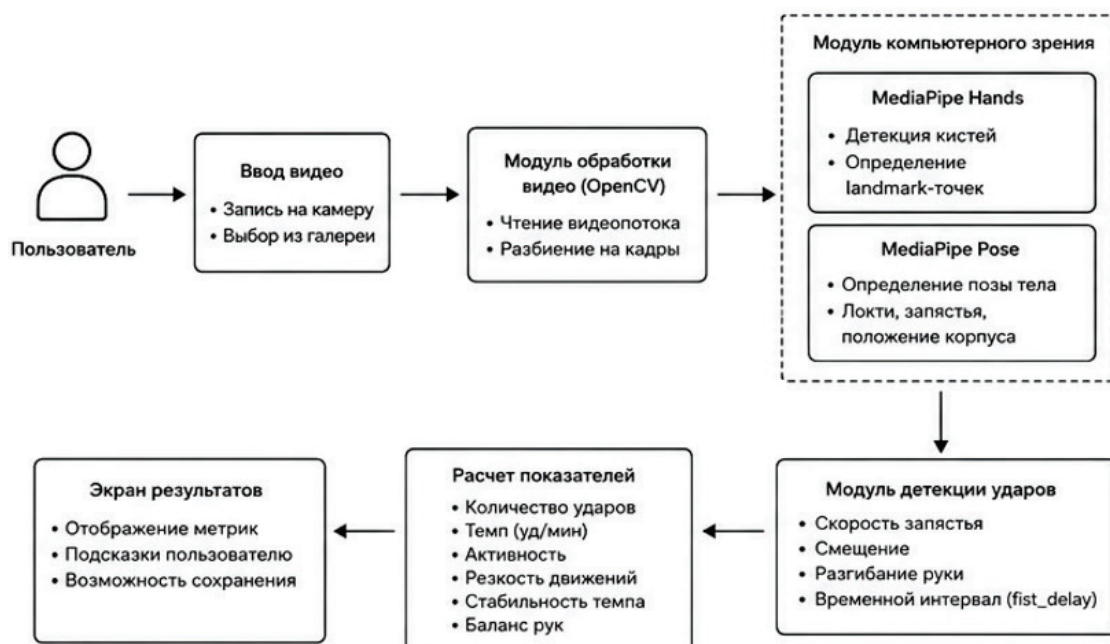


Рис. 1. Архитектура приложения

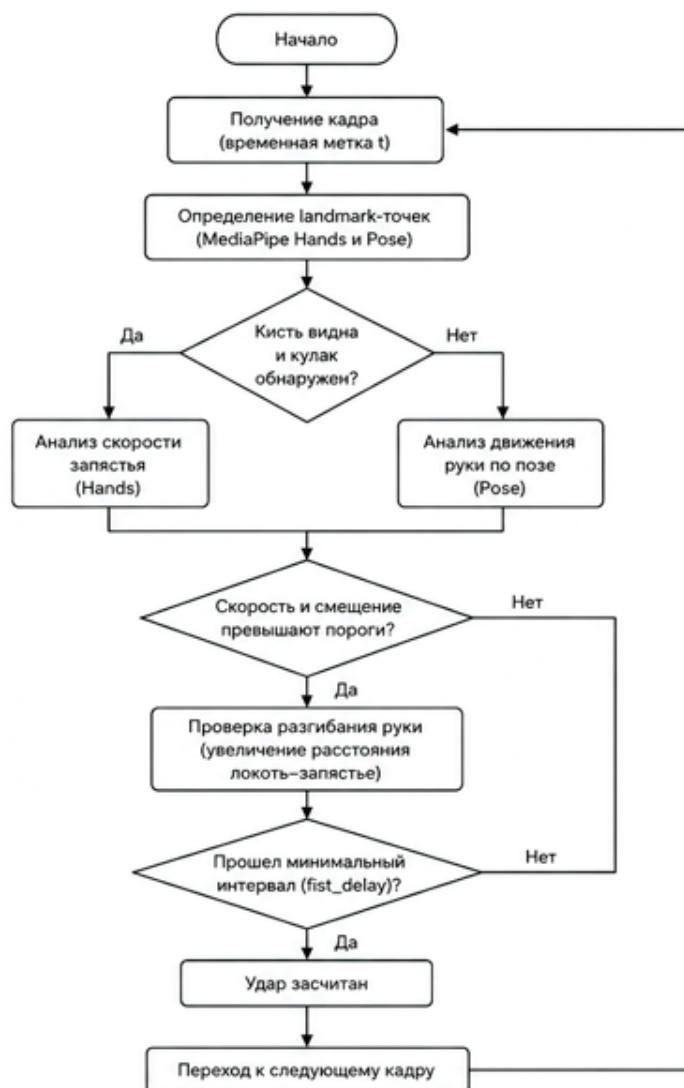


Рис. 2. Алгоритм детекции ударного движения

лачных систем анализа видео, мобильное приложение выполняет все вычисления непосредственно на устройстве пользователя. Такой подход уменьшает задержки обработки, исключает необходимость постоянного интернет-соединения и повышает уровень конфиденциальности пользовательских данных. Кроме того, локальное выполнение алгоритмов обеспечивает возможность многократного быстрого анализа после изменения параметров чувствительности [2].

Несмотря на функциональные преимущества, разработанный подход имеет ряд ограничений. Приложение не определяет реальную физическую силу удара, поскольку для такой задачи необходим учет массы конечности, ускорения, контактных взаимодействий или использование специализированных датчиков. Анализ

осуществляется исключительно на основе визуальных признаков движения. Точность распознавания также зависит от внешних факторов, включая освещенность сцены, частоту кадров камеры, качество стабилизации изображения, ракурс съемки и степень видимости рук спортсмена [1, 5].

Таким образом, разработанное мобильное приложение представляет собой автономный инструмент анализа боксерских тренировок на основе методов компьютерного зрения. Использование локальной обработки и алгоритмов анализа движений обеспечивает практическую применимость решения для спортивной аналитики. Перспективы развития связаны с внедрением нейросетевой классификации ударов и расширением набора рассчитываемых метрик.

Литература:

1. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Cham: Springer, 2022. 979 p.
2. Lugaresi C., Tang J., Nash H. et al. MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2019.

3. Bradski G. The OpenCV Library // Dr. Dobb's Journal of Software Tools. 2000.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge: MIT Press, 2016. 775 p.
5. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006. 738

Механизмы селективного внимания для обнаружения, классификации объектов субоптимального разрешения в сложных сценах

Майор Михаил Владимирович, студент;

Тулынин Иван Алексеевич, студент

Научный руководитель: Белов Юрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

В статье рассматриваются механизмы селективного внимания, обеспечивающие обнаружение и классификацию объектов в условиях субоптимального разрешения и сложных сцен. Исследование начинается с анализа нейробиологических основ контекстной обработки информации в зрительной системе человека, включая временную динамику и причинно-следственные связи. На основе этих принципов предлагаются современные архитектуры глубокого обучения, включая специализированные модули (CAB, CFD, деформируемые свёртки) и стратегии оптимизации. Особое внимание уделяется двухпоточным и гибридным конвейерам. Систематизированы ключевые практические вызовы: работа с шумом, детекция малых объектов и обработка семантически инконгруэнтных сцен. Для каждого из них предложены архитектурные решения, такие как динамическое взвешивание достоверности, многоуровневые пирамиды контекста и детекторы семантического конфликта.

Ключевые слова: контекстная обработка информации, когнитивный усилитель, компьютерное зрение, глубокое обучение, двухпоточные архитектуры, гибридные модели, механизмы внимания, малые объекты, инконгруэнтность, активное восприятие.

Способность человеческого зрения безошибочно идентифицировать объект в условиях тумана, толпы или размытого изображения давно привлекает исследователей. Ключ здесь — не в абсолютной разрешающей способности глаза, а в мастерском использовании контекста. Контекст выступает активным когнитивным усилителем, позволяющим мозгу «достраивать» недостающие фрагменты и подавлять шум [1, с. 618].

Нейрофизиологические исследования с использованием фМРТ показали, что контекст начинает влиять на распознавание уже через 160–200 миллисекунд после стимула. Сначала активируется сценоселективная область (ОРА), отвечающая за глобальную структуру сцены. Ещё через 60–100 мс включается латеральная затылочная кора (ЛОС), где локальные признаки объекта интегрируются с контекстными сигналами [2, с. 599]. Эксперименты с транскраниальной магнитной стимуляцией подтверждают причинно-следственную роль ОРА: её временное подавление резко ухудшает распознавание объектов в сложных сценах, тогда как идентификация изолированных объектов не страдает. Это доказывает, что контекст работает как нисходящий (top-down) процесс, особенно значимый при высокой визуальной неопределённости [3, с. 275].

Прямой вычислительный аналог этих биологических механизмов стали механизмы внимания в глубоком обучении. Базовый принцип самовнимания (self-attention)

адаптирован для компьютерного зрения и позволяет модели динамически взвешивать важность разных частей изображения [4, с. 7795]. Современные архитектуры воплощают его в специализированных модулях. Блок контекстного внимания (CAB) использует многомасштабные карты признаков для усиления сигналов от малых или зашумлённых объектов. Кросс-разрежённое слияние (CFD) интегрирует контекст на этапе субдискретизации, сохраняя семантическую информацию. Деформируемые свёрточные сети (DCN) адаптивно меняют форму рецептивных полей, что особенно полезно для объектов нестандартной геометрии [5, с. 766].

Для практического применения на устройствах с ограниченными ресурсами важны методы сжатия. Наиболее эффективным оказывается кросс-разрежённое реляционное контрастное дистиллирование, при котором маленькая модель перенимает у большой не только признаки, но и взаимосвязи между объектами и контекстом. Другой критический подход — обучение с осведомлённостью о квантовании (QAT). Он симулирует понижение разрядности весов и активаций ещё на этапе обучения, позволяя модели адаптироваться к искажениям. В итоге удаётся сократить размер модели в 3–4 раза при потере точности всего 1–2 % [6, с. 2706], что открывает путь для развёртывания на edge-устройствах.

Логичным инженерным ответом на понимание контекста как отдельного, но координируемого потока стали

двухпоточные сети. В современном паттерне для статического изображения контекстный поток работает со всем кадром или его крупными областями, формируя «понимание» сцены с помощью пирамидальных структур или трансформеров. Объектный поток фокусируется на регионах интереса, анализируя локальные признаки. Эксперименты показывают, что явное добавление контекстного пути повышает среднюю точность (mAP) на 2–5 процентных пункта по сравнению с одиночным потоком. Ключевой вопрос — где и как сливать информацию. Ранняя фузия объединяет признаки на низких уровнях, эффективно подавляя шум, но рискуя «размыть» детали. Поздняя фузия сохраняет чистоту каждого потока, но требует умения разрешать семантические конфликты. Каскадная (многоуровневая) фузия — наиболее распространённый гибридный подход. «Клеем», связывающим потоки, служат механизмы пространственного и канального внимания, а также деформируемые свёртки для геометрической согласованности.

Эволюция двухпоточного паттерна привела к гибридным конвейерам, объединяющим сильные стороны CNN (локальность, эффективность) и трансформеров (глобальные зависимости) [8, с. 10014]. Типичная конфигурация: объектный поток — компактная CNN с усиленной пирамидой признаков, контекстный поток — видение-трансформер, обрабатывающий всё изображение. Взаимодействие реализуется через кросс-внимание, где запросы формируются из объектных признаков, а ключи и значения — из контекстных. Это позволяет каждому кандидату «запрашивать» релевантный контекст. На практике даже тонкая интеграция блоков самовнимания в «шею» детектора повышает чувствительность к мелким и перекрытым объектам.

Однако мощный контекстный анализ создаёт и уязвимости. Первый вызов — шум. Наивное усиление контекста в зашумлённой сцене приводит к накоплению ошибок. Решением служит динамическое взвешивание достоверности (confidence gate): модель оценивает энтропию карт признаков и в зашумлённых регионах автоматически снижает вес ненадёжного объектного потока, полагаясь на очищенный глобальный контекст. На датасетах с гауссовым шумом такой подход сохраняет до 90 % точности, тогда как стандартная двухпоточная архитектура деградирует на 15–20 %.

Второй вызов — малые объекты (менее 32×32 пикселей). Стандартные операции пулинга безвозвратно теряют их признаки. Нейробиологический аналог — периферийное зрение человека, которое эффективно обнаруживает объекты за счёт сценового контекста и быстрых движений глаз. В архитектурах применяется многоуровневая пирамида контекста: низкоуровневые карты обеспечивают точную локализацию, высокоуровневые — семантику для классификации. Дополнительно используется контекстное «приближение» (contextual zoom) — после первоначального обнаружения кандидата модель извлекает высокоразрешённый патч вокруг него.

Для групп малых объектов (стая птиц, скопление машин) эффективны графовые нейронные сети, кодирующие взаимные отношения. На специализированных датасетах (VisDrone) комбинация методов даёт прирост точности по малым объектам до 8–12 %.

Самый сложный вызов — семантическая инконгруэнтность: появление объекта в нетипичном контексте (корова в гостиной). Сильная зависимость от контекста превращается здесь в ахиллесову пяту — модель «видит» то, что «должно быть», игнорируя реальность. Нейробиологически это напоминает перцептивные иллюзии, где мощные top-down ожидания подавляют сенсорные данные. Архитектурное решение — детектор семантического конфликта, лёгкий модуль, предсказывающий вероятность несоответствия между объектным и контекстным потоками. При высоком сигнале конфликта вес контекстного потока снижается, а объектный поток получает дополнительный вычислительный ресурс для углублённого анализа локальных признаков. Дополнительно применяется контрастное обучение на инконгруэнтных парах, заставляющее модель извлекать признаки, инвариантные к контексту. На модифицированном COCO такие системы повышают точность распознавания аномальных объектов на 25–30 % по сравнению с моделью, слепо полагающейся на контекст.

Преодоление описанных ограничений знаменует переход от пассивной обработки к активному восприятию (active vision) [9, с. 967]. Будущая модель — это не просто детектор, а агент, который целенаправленно запрашивает недостающую информацию, меняет «взгляд» и разрешение. Цикл активного восприятия начинается с первичной гипотезы о сцене. Затем внутренний модуль вычисляет карту неуверенности (энтропия предсказаний). Политика, обученная с подкреплением, выбирает следующее действие: смещение фовеального окна высокого разрешения, изменение масштаба или запрос дополнительной модальности. Действие выполняется, внутреннее состояние обновляется, и цикл повторяется до достижения достаточной уверенности. Такой подход радикально снижает зависимость от зашумлённого фона и ложных контекстных сигналов. На рис. 1 представлена схема этого итеративного процесса.

Активность распространяется и на внутреннюю архитектуру. Принцип условных вычислений означает, что глубина и разрешение обработки выбираются динамически. «Дорогие» трансформерные блоки активируются только для регионов с высоким конфликтом или неуверенностью. Для простых конгруэнтных регионов модель может делать ранний выход, экономя до 60–70 % вычислений. В паре с QAT это позволяет удерживать инференс в реальном времени на edge-устройствах. При обнаружении семантического конфликта робастная система должна уметь совершать физические действия: для статичной камеры — запрос переэкспозиции или ИК-канала, для дрона — приближение или облёт. В мультиагентных системах контекст распределяется между несколькими дронами, а их представления согласуются через рас-

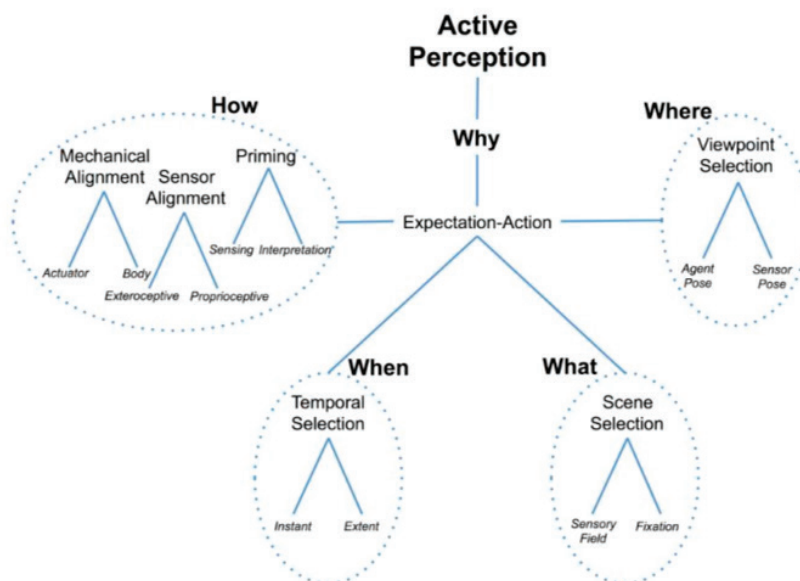


Рис. 1. Схема активного восприятия: итеративный цикл «восприятие — действие — обновление состояния» (адаптировано из [9, с. 970])

пределённое кросс-внимание. Наконец, в условиях открытого мира система должна обнаруживать новые (out-of-distribution) объекты и адаптироваться через мета-обучение и активную выборку трудных примеров. Кросс-модальный диалог с базами знаний и другими сенсорами (лидар, тактильные датчики) также становится неотъемлемой частью перспективных решений.

Эволюция использования контекста в компьютерном зрении прошла путь от нейробиологических основ до

сложных статических архитектур, затем до борьбы с ограничениями и, наконец, до парадигмы активного восприятия. Будущие системы не будут пассивными анализаторами пикселей. Они станут активными агентами, использующими контекст как динамическую, проверяемую гипотезу. Такие системы смогут разумно распределять ресурсы, взаимодействовать со средой, обучаться на лету и объяснять свои решения — приближая нас к по-настоящему робастному и адаптивному машинному зрению.

Литература:

1. Bar, M. Visual objects in context / M. Bar. — Текст: непосредственный // Nature Reviews Neuroscience. — 2004. — № 5(8). — С. 617–629.
2. Epstein, R. A cortical representation of the local visual environment / R. Epstein, N. Kanwisher. — Текст: непосредственный // Nature. — 1998. — № 392(6676). — С. 598–601.
3. Kersten, D. Object perception as Bayesian inference / D. Kersten, P. Mamassian, A. Yuille. — Текст: непосредственный // Annual Review of Psychology. — 2004. — № 55. — С. 271–304.
4. Non-local neural networks / X. Wang, R. Girshick, A. Gupta, K. He. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). —, 2018. — С. 7794–7803.
5. Deformable convolutional networks / J. Dai, H. Qi, Y. Xiong [и др.]. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). —, 2017. — С. 764–773.
6. Quantization and training of neural networks for efficient integer-arithmetic-only inference / B. Jacob, S. Kligys, B. Chen [и др.]. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). —, 2018. — С. 2704–2713.
7. Feichtenhofer, C. Convolutional two-stream network fusion for video action recognition / C. Feichtenhofer, A. Pinz, A. Zisserman. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). —, 2016. — С. 1933–1941.
8. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows / Z. Liu, Y. Lin, Y. Cao [и др.]. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). —, 2021. — С. 10012–10022.
9. Bajcsy, R. Active perception / R. Bajcsy. — Текст: непосредственный // Proceedings of the IEEE. — 1988. — № 8. — С. 966–1005.
10. End-to-end object detection with transformers / N. Carion, F. Massa, G. Synnaeve [и др.]. — Текст: непосредственный // Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV). —, 2020. — С. 213–229.

Архитектура и математическая модель импульсных нейронных сетей в задачах прогнозирования высокочастотных финансовых временных рядов

Морозов Александр Анатольевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Малышев Роман Алексеевич, кандидат технических наук, доцент
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва (Ярославская область)

В статье исследуются перспективы и теоретические основы применения импульсных нейронных сетей (Spiking Neural Networks, SNN) для анализа и прогнозирования нелинейных временных рядов на примере финансовых котировок. Традиционные архитектуры глубокого обучения второго поколения (ANN), такие как LSTM и GRU, обладают высокой вычислительной сложностью и не всегда эффективно учитывают разреженность пространственно-временных данных. Рассматриваются биологически правдоподобные математические модели нейронов (Leaky Integrate-and-Fire), методы кодирования непрерывных биржевых данных в последовательности спайков, а также алгоритмы обучения, включая суррогатный градиентный спуск. Обосновывается целесообразность интеграции SNN в программные комплексы алгоритмического трейдинга для сравнительного анализа с классическими моделями машинного обучения в рамках задачи прогнозирования рыночной динамики.

Ключевые слова: импульсные нейронные сети, SNN, LIF-нейрон, временные ряды, прогнозирование котировок, машинное обучение, суррогатный градиент, спайк.

Введение

Современные финансовые рынки генерируют колоссальные объемы высокочастотных данных, характеризующихся высоким уровнем шума, нелинейностью и нестационарностью. Традиционным подходом к прогнозированию динамики котировок ценных бумаг стало использование рекуррентных нейронных сетей (RNN), в частности архитектур LSTM (Long Short-Term Memory) и GRU (Gated Recurrent Unit). Однако, несмотря на их высокую предсказательную способность, данные модели (относящиеся ко второму поколению нейросетей) требуют значительных вычислительных ресурсов для обучения,

а также оперируют непрерывными значениями активаций, что не в полной мере отражает асинхронную природу потоковых рыночных событий.

В связи с этим все больший интерес исследователей привлекают нейронные сети третьего поколения [1] — импульсные нейронные сети (Spiking Neural Networks, SNN). В отличие от классических ANN, SNN максимально приближены к биологическим механизмам работы мозга: они обрабатывают информацию не через непрерывные числа с плавающей запятой, а посредством дискретных событий во времени — импульсов (спайков). На рисунке 1 — архитектура импульсной модели, которая наиболее похожа на человеческую.

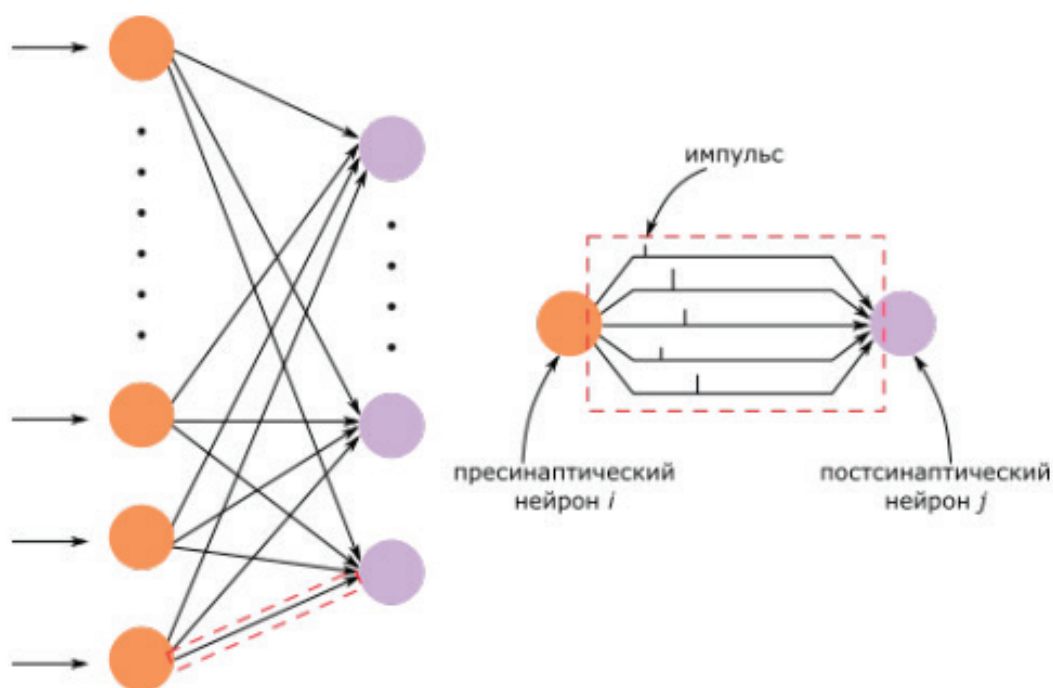


Рис. 1. Архитектура импульсной модели

1. Математические модели импульсных нейронов

Фундаментальным отличием SNN от классических сетей является наличие внутреннего состояния нейрона, которое изменяется с течением времени. Вместо использования традиционных функций активации (ReLU, Sigmoid), импульсные нейроны описываются дифференциальными уравнениями.

Наиболее распространенной и вычислительно оптимальной является модель «интегрируй-и-срабатывай с утечкой» (Leaky Integrate-and-Fire, LIF) [2]. Динамика мембранного потенциала u такого нейрона в момент времени t описывается следующим уравнением:

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -(u(t) - u_{rest}) + R \cdot I(t)$$

где τ_m — постоянная времени мембраны, определяющая скорость утечки заряда, u_{rest} — потенциал покоя (базовый уровень напряжения нейрона), R — сопротивление мембраны, $I(t)$ — входной ток, формируемый взвешенной суммой спайков от пресинаптических нейронов.

Когда мембранный потенциал $u(t)$ достигает заданного порогового значения u_{th} , нейрон генерирует выходной спайк (функция Дирака), после чего его потенциал принудительно сбрасывается до значения u_{reset} , и нейрон переходит в период рефрактерности (кратковременной неактивности).

Такая модель обладает свойством кратковременной памяти за счет постепенного затухания потенциала (утечки). В контексте биржевых котировок это означает, что недавние изменения цены будут иметь больший вес для генерации сигнала, чем события из далекого прошлого, что физически моделирует механизм внимания к актуальным трендам.

2. Кодирование финансовых временных рядов в импульсы

Поскольку SNN работают исключительно с бинарными спайками во времени, возникает критическая задача преобразования непрерывных временных рядов (цен открытия, закрытия, объемов торгов) в импульсный формат. Существует два основных подхода к кодированию:

1. Частотное кодирование. Значение котировки преобразуется в частоту генерации спайков. Чем выше относительное изменение цены, тем чаще нейрон генерирует импульсы в заданном временном окне. Этот метод надежен и устойчив к шуму, но нивелирует главное преимущество SNN — строгую привязку ко времени;

2. Временное кодирование. Информацию несет точное время возникновения спайка. В контексте финансовых рядов оптимальным решением является дельта модуляция. При таком подходе система генерирует спайк только тогда, когда изменение цены ценной бумаги превышает заданный порог. Если цена растет, активируется канал положительных спайков, если падает — отрицательных.

Использование дельта модуляции позволяет системе алгоритмически отфильтровать рыночный шум и реагировать только на статистически значимые изменения тренда, что формирует сильно разреженный и вычислительно легкий тензор входных данных.

3. Методология обучения SNN

Обучение SNN — одна из самых трудных и активно исследуемых задач. В биологических нейронных сетях обучение происходит преимущественно без учителя, через механизмы пластичности синапсов. Аналогично, для искусственных SNN природными являются правила вроде правила Хебба («нейроны, которые возбуждаются вместе, усиливают связь») и STDP (Spike-Timing Dependent Plasticity — зависимость изменения веса от порядка и разницы во времени между спайками пресинаптического и постсинаптического нейронов). Такие подходы позволяют сети самоорганизовываться и выявлять корреляции во входах без явной целевой метки. В простейшем случае SNN может обучаться нераспорядительным образом: часто совместно активные соединения усиливаются, редко используемые — ослабевают.

Однако для решения сложных задач нужен контролируемый метод обучения (с учителем), аналог градиентного спуска и обратного распространения ошибки (backpropagation), которые так успешны в глубоких сетях. Прямое применение алгоритма обратного распространения ошибки затруднено: из-за дискретного характера спайков функция активации негладкая и не дифференцируема во времени. Градиентный спуск «не видит» малых изменений времени спайка — ведь либо спайк есть, либо его нет. Таким образом, стандартный backpropagation в исходном виде плохо работает на спайковых нейронах. Это основная причина, почему до сих пор не найден эффективный алгоритм обучения, гарантирующий превосходство SNN над обычными нейросетями.

Современные исследования предлагают несколько путей решения этой проблемы [3]. Один из подходов — использование сглаженных аппроксимаций спайков (surrogate gradients), при котором для расчёта градиента импульсная функция заменяется на непрерывную приближенную (например, сигмоиду), позволяя применять backpropagation с поправками. Другой подход — обучение с подкреплением и биологически правдоподобные алгоритмы, в которых spiking-нейроны обучаются через систему вознаграждений, модулирующих STDP (reward-modulated STDP).

Заключение

Импульсные нейронные сети представляют собой мощный, хотя и математически сложный инструмент анализа пространственно-временных данных. Изученные в рамках исследования свойства LIF-нейронов и механизмы временного кодирования показывают, что SNN кон-

цептואально соответствуют природе финансовых рынков. Переход от анализа абсолютных значений цены к анализу

асинхронных событий-спайков позволяет существенно снизить влияние рыночного информационного шума.

Литература:

1. Wolfgang Maass. Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models. [Электронный ресурс]: Электронные текстовые данные. URL: https://archive.org/details/sim_neural-networks_1997-12_10_9/page/1658/mode/2up (дата обращения: 29.05.2026).
2. Wulfram Gerstner, Werner M. Kistler, Richard Naud, Liam Paninski. Neuronal Dynamics: From Single Neurons to Networks and Models of Cognition. [Электронный ресурс]: Электронные текстовые данные. URL: <https://neurondynamics.epfl.ch/online/Ch1.S3.html> (дата обращения: 29.05.2026).
3. В. А. Евграфов, Е. А. Ильюшин. Спайковые нейронные сети. [Электронный ресурс]: Электронные текстовые данные. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spaykovye-neyronnye-seti/viewer> (дата обращения: 29.05.2026).

Применение SBOM для управления рисками open-source-компонентов в системах критической информационной инфраструктуры

Моряков Антон Вячеславович, студент

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Современные корпоративные и промышленные информационные системы в значительной степени зависят от open-source-компонентов, библиотек, фреймворков и вспомогательных программных модулей. В условиях эксплуатации объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации такая зависимость формирует дополнительные риски, связанные с уязвимостями стороннего программного обеспечения, устаревшими зависимостями, отсутствием прозрачности цепочки поставки и сложностью оперативной оценки воздействия вновь выявленных уязвимостей. В статье рассматривается применение Software Bill of Materials (SBOM) как инструмента управления рисками open-source-компонентов в системах критической информационной инфраструктуры. Предлагается методика использования SBOM, включающая инвентаризацию программных компонентов, оценку критичности зависимостей, сопоставление с базами уязвимостей, расчет интегрального показателя риска и формирование приоритетов реагирования. Представленный подход ориентирован на повышение прозрачности состава программного обеспечения, ускорение анализа уязвимостей и поддержку риск-ориентированного управления информационной безопасностью в организациях, эксплуатирующих объекты КИИ.

Ключевые слова: критическая информационная инфраструктура, КИИ, SBOM, Software Bill of Materials, open source, управление уязвимостями, цепочка поставки программного обеспечения, DevSecOps, SCA, оценка рисков.

Объекты критической информационной инфраструктуры характеризуются высокой значимостью для функционирования государства, экономики, промышленности и социальной сферы. Нарушение работы таких объектов может привести к существенным последствиям, включая остановку технологических процессов, нарушение предоставления критически важных услуг, экономический ущерб и угрозу безопасности персонала.

Одним из факторов риска в современных информационных системах является широкое использование сторонних программных компонентов. При разработке корпоративных приложений, промышленных сервисов, средств мониторинга, внутренних порталов и аналитических систем активно применяются open-source-библиотеки, фреймворки и контейнерные образы. Такой подход позволяет ускорить разработку, снизить стоимость внедрения и использовать уже проверенные программные

решения. Вместе с тем он усложняет контроль безопасности, поскольку итоговый программный продукт может включать десятки или сотни прямых и транзитивных зависимостей.

Особую значимость проблема приобретает в системах критической информационной инфраструктуры. Для таких систем недостаточно знать только факт наличия уязвимости в программном обеспечении. Необходимо понимать, какой компонент уязвим, в каком программном продукте он используется, на каком активе развернут, влияет ли он на критический процесс, существуют ли публичные эксплойты и какие компенсирующие меры уже применяются. Без формализованного учета состава программного обеспечения такая оценка становится затруднительной и часто выполняется вручную.

Традиционный подход к управлению уязвимостями основан на регулярном сканировании инфраструктуры,

анализе результатов средств SCA и сопоставлении выявленных компонентов с базами известных уязвимостей. Однако данный подход имеет ряд ограничений:

- неполная видимость транзитивных зависимостей;
- сложность определения распространенности уязвимого компонента в инфраструктуре;
- отсутствие единого описания состава программного обеспечения;
- затрудненная оценка влияния уязвимости на критические бизнес- и технологические процессы;
- зависимость от качества данных, предоставляемых разработчиками, подрядчиками и поставщиками.

Для устранения указанных ограничений может применяться Software Bill of Materials — формализованная ведомость состава программного обеспечения. SBOM представляет собой структурированное описание компонентов программного продукта, включая наименование, версию, поставщика, тип компонента, сведения о лицензии, контрольные суммы, связи между зависимостями и иные атрибуты, необходимые для анализа безопасности.

Использование SBOM позволяет перейти от реактивного подхода к управлению уязвимостями к проактивной модели, при которой организация заранее обладает информацией о составе используемого программного обеспечения и может быстро определить, затрагивает ли новая уязвимость ее инфраструктуру.

В системах КИИ SBOM может применяться для решения следующих задач:

1. Инвентаризация open-source-компонентов в складных системах;
2. Контроль прямых и транзитивных зависимостей;
3. Оценка влияния уязвимостей на критически значимые активы;
4. Приоритизация мероприятий по устранению уязвимостей;
5. Контроль лицензионных и регуляторных рисков;
6. Повышение прозрачности цепочки поставки программного обеспечения;
7. Интеграция процессов безопасной разработки и управления рисками.

Особенно важным является применение SBOM в организациях, где одновременно используются собственная разработка, заказная разработка, коммерческие программные продукты и open-source-компоненты. В таких условиях единая модель учета состава программного обеспечения позволяет унифицировать процессы анализа рисков и реагирования на уязвимости.

Предлагаемая методика применения SBOM для управления рисками open-source-компонентов в системах КИИ включает несколько последовательных этапов.

Первый этап — определение области применения SBOM. На данном этапе организация формирует перечень программных продуктов, информационных систем и сервисов, для которых требуется ведение ведомости программных компонентов. В первую очередь

в область применения должны включаться системы, связанные с критическими процессами, обработкой значимой информации, межсегментным взаимодействием, удаленным доступом и интеграцией с технологическими контурами.

Второй этап — формирование SBOM. Для программных продуктов собственной разработки SBOM целесообразно формировать автоматически в контуре DevSecOps на этапах сборки, тестирования и выпуска релиза. Для программных продуктов поставщиков SBOM может запрашиваться в рамках процедур закупки, приемки и сопровождения. Для уже эксплуатируемых систем возможно использование инструментов Software Composition Analysis, анализа контейнерных образов и репозиториях зависимостей.

Третий этап — нормализация и проверка качества SBOM. Полученные данные должны приводиться к единому формату, проверяться на полноту и актуальность. Важными признаками качества SBOM являются наличие версий компонентов, корректное указание зависимостей, наличие контрольных сумм, описание лицензий и возможность машинной обработки.

Четвертый этап — сопоставление компонентов с источниками информации об уязвимостях. На данном этапе сведения из SBOM сопоставляются с базами известных уязвимостей, результатами SCA-анализа, внутренними реестрами исключений и данными о фактической эксплуатации компонентов. При этом важно учитывать не только наличие уязвимости, но и контекст ее использования.

Пятый этап — оценка риска open-source-компонента. Для систем КИИ оценка риска должна учитывать не только техническую опасность уязвимости, но и критичность программного продукта, расположение актива в архитектуре, доступность уязвимого компонента для эксплуатации и наличие компенсирующих мер.

Предлагается использовать интегральный показатель риска open-source-компонента R , рассчитываемый на основе нескольких параметров:

$$R = V \times E \times A \times K \times M,$$

где:

V — нормализованная техническая опасность уязвимости;

E — вероятность эксплуатации уязвимости;

A — доступность уязвимого компонента для потенциального нарушителя;

K — критичность актива или системы, в которой используется компонент;

M — коэффициент, отражающий наличие или отсутствие компенсирующих мер.

Показатель V может определяться на основе CVSS или иных технических метрик. Для приведения значения к диапазону от 0 до 1 балл CVSS может быть разделен на 10.

Показатель E отражает вероятность практической эксплуатации уязвимости. Он может учитывать наличие публичного эксплойта, сведения об активной эксплуатации,

сложность атаки, доступность технических описаний и актуальность угрозы для конкретной отрасли.

Показатель А характеризует доступность уязвимого компонента. Например, библиотека, используемая во внутреннем модуле без сетевого взаимодействия, имеет меньшую доступность для нарушителя, чем компонент, обрабатывающий внешние HTTP-запросы или данные из недоверенной зоны.

Показатель К отражает критичность системы или актива, в котором используется компонент. В условиях КИИ данный параметр является особенно важным, поскольку одна и та же уязвимость может иметь различное значение в зависимости от роли системы. Уязвимость во вспомогательном сервисе отчетности и уязвимость в компоненте, связанном с управлением технологическим процессом, должны иметь разный управленческий приоритет.

Показатель М позволяет учитывать компенсирующие меры. Если уязвимый компонент изолирован, недоступен из внешних сегментов, контролируется средствами мониторинга и защищен дополнительными механизмами, итоговый риск может быть снижен. При отсутствии компенсирующих мер значение М должно оставаться высоким.

Для практического применения может использоваться следующая шкала:

- $R \geq 0,7$ — критический риск;
- $0,4 \leq R < 0,7$ — высокий риск;
- $0,2 \leq R < 0,4$ — средний риск;
- $R < 0,2$ — низкий риск.

Уязвимости критического риска требуют немедленной реакции. Для них необходимо определить временные компенсирующие меры, оценить возможность обновления компонента, ограничить сетевое взаимодействие, усилить мониторинг и зафиксировать сроки устранения. В отдельных случаях может потребоваться временное отключение функциональности или перевод системы в ограниченный режим эксплуатации.

Уязвимости высокого риска должны устраняться в приоритетном порядке в рамках ближайшего цикла обновлений или регламентных работ. Для таких уязвимостей необходимо назначить ответственных, определить сроки и контролировать выполнение мероприятий.

Уязвимости среднего риска могут устраняться в плановом порядке с учетом технических окон, совместимости обновлений и доступности ресурсов. При этом требуется регулярный пересмотр риска, поскольку вероятность эксплуатации может изменяться при появлении новых эксплойтов или изменении архитектуры системы.

Уязвимости низкого риска могут быть приняты к наблюдению при условии документирования решения и сохранения контроля за изменениями контекста угроз.

Рассмотрим пример применения предложенной методики.

В программном продукте, используемом в корпоративной инфраструктуре, выявлена open-source-биб-

лиотека с известной уязвимостью. Для первого случая библиотека используется во внутреннем сервисе формирования отчетов, не имеющем прямого взаимодействия с технологическим сегментом. Значения параметров определены следующим образом:

$$V = 0,9;$$

$$E = 0,8;$$

$$A = 0,4;$$

$$K = 0,3;$$

$$M = 0,7.$$

Интегральный показатель риска:

$$R = 0,9 \times 0,8 \times 0,4 \times 0,3 \times 0,7 = 0,06048.$$

Несмотря на высокий технический балл уязвимости и наличие вероятности эксплуатации, итоговый риск оказывается низким, поскольку компонент используется в некритичном контексте, имеет ограниченную доступность и не оказывает прямого влияния на технологический процесс.

Во втором случае аналогичная уязвимая библиотека применяется в сервисе, обеспечивающем обмен данными между корпоративным и технологическим сегментами. Параметры имеют следующие значения:

$$V = 0,9;$$

$$E = 0,8;$$

$$A = 0,8;$$

$$K = 0,9;$$

$$M = 1,0.$$

Интегральный показатель риска:

$$R = 0,9 \times 0,8 \times 0,8 \times 0,9 \times 1,0 = 0,5184.$$

В данном случае уязвимость относится к высокому уровню риска. Основное отличие заключается не в технической характеристике самой уязвимости, а в контексте применения компонента. Использование SBOM позволяет быстро выявить, в каких системах присутствует уязвимая библиотека, а риск-ориентированная модель помогает определить, какие системы требуют первоочередного реагирования.

Таким образом, SBOM становится не просто перечнем зависимостей, а основой для принятия управленческих решений в области информационной безопасности.

Внедрение SBOM в процессы управления рисками open-source-компонентов обеспечивает ряд преимуществ.

Во-первых, повышается прозрачность состава программного обеспечения. Организация получает возможность понимать, какие библиотеки, фреймворки и модули используются в конкретных системах, какие версии применяются и какие зависимости являются транзитивными.

Во-вторых, сокращается время реакции на появление новых уязвимостей. При публикации информации о критической уязвимости специалистам не требуется вручную анализировать все системы. Достаточно выполнить поиск по централизованному хранилищу SBOM и определить затронутые программные продукты.

В-третьих, повышается качество приоритизации. Уязвимости ранжируются не только по техническому баллу,

но и с учетом критичности актива, архитектурного контекста и доступности компонента для эксплуатации.

В-четвертых, SBOM способствует развитию процессов DevSecOps. Автоматическое формирование и проверка SBOM может быть встроена в CI/CD-конвейер, что позволяет выявлять нежелательные зависимости и уязвимые версии еще до вывода программного продукта в эксплуатацию.

В-пятых, использование SBOM повышает управляемость цепочки поставки программного обеспечения. Организация может предъявлять требования к поставщикам, контролировать состав поставляемых продуктов и снижать риски, связанные с непрозрачностью сторонних решений.

В-шестых, SBOM может использоваться как источник данных для GRC-платформ, систем управления уязвимостями, средств SCA, SIEM и внутренних реестров активов. Это позволяет связать данные о программных компонентах с данными об активах, владельцах систем, критичности процессов и текущем статусе устранения уязвимостей.

Вместе с тем применение SBOM имеет ряд ограничений.

Во-первых, эффективность подхода зависит от качества исходных данных. Неполный или устаревший SBOM может создавать ложное ощущение контроля и приводить к пропуску значимых уязвимостей.

Во-вторых, требуется регулярная актуализация SBOM. Программные продукты изменяются при обновлениях, установке исправлений, изменении контейнерных образов и подключении новых зависимостей. Поэтому SBOM должен рассматриваться не как разовый документ, а как постоянно обновляемый артефакт жизненного цикла программного обеспечения.

В-третьих, сохраняется проблема транзитивных зависимостей. Некоторые компоненты могут подключаться косвенно через другие библиотеки, что усложняет анализ и требует применения специализированных инструментов.

В-четвертых, необходимо учитывать конфиденциальность информации. SBOM может раскрывать сведения о составе программного обеспечения, версиях библиотек и используемых технологиях. В организациях с объектами КИИ такие данные должны храниться и передаваться с учетом требований информационной безопасности.

В-пятых, автоматическое сопоставление компонентов с базами уязвимостей может приводить к ложноположительным результатам. Не каждая уязвимость в библиотеке является практически эксплуатируемой в конкретном программном продукте. Поэтому результаты автоматизированного анализа должны дополняться экспертной оценкой.

Для эффективного внедрения SBOM в организациях, эксплуатирующих объекты КИИ, целесообразно придерживаться следующих рекомендаций:

— определить перечень систем, для которых ведение SBOM является обязательным;

— закрепить требования к SBOM в процессах разработки, закупки и приемки программного обеспечения;

— использовать единые форматы представления данных, пригодные для машинной обработки;

— интегрировать формирование SBOM в CI/CD и процессы релизного контроля;

— создать централизованное хранилище SBOM;

— обеспечить связь SBOM с реестром активов и классификацией критичности систем;

— регулярно сопоставлять компоненты с базами уязвимостей;

— использовать риск-ориентированную модель приоритизации;

— документировать решения о принятии, снижении или устранении риска;

— контролировать актуальность SBOM после каждого изменения программного продукта.

Особое внимание следует уделять организационной стороне внедрения. SBOM должен использоваться не только специалистами по информационной безопасности, но и командами разработки, эксплуатации, закупок и управления рисками. В противном случае он может остаться формальным документом, не влияющим на реальные управленческие решения.

В рамках процессов безопасной разработки SBOM целесообразно рассматривать как обязательный артефакт релиза. Перед передачей программного продукта в эксплуатацию должна выполняться проверка состава зависимостей, анализ известных уязвимостей, оценка лицензионных рисков и формирование заключения о допустимости использования конкретной версии продукта.

Для поставляемого программного обеспечения SBOM может использоваться как элемент контроля цепочки поставки. Наличие структурированного перечня компонентов позволяет заказчику быстрее оценить риски использования продукта, проверить наличие устаревших зависимостей и определить, какие меры сопровождения должны быть предусмотрены в договорных отношениях.

В системах КИИ применение SBOM должно быть связано с общей моделью управления рисками. Сам по себе перечень компонентов не снижает риск, если он не используется для принятия решений. Практическая ценность SBOM проявляется только при его интеграции с процессами инвентаризации активов, управления уязвимостями, контроля изменений, реагирования на инциденты и обеспечения непрерывности функционирования.

В работе рассмотрено применение Software Bill of Materials для управления рисками open-source-компонентов в системах критической информационной инфраструктуры. Показано, что SBOM обеспечивает прозрачность состава программного обеспечения, ускоряет анализ воздействия новых уязвимостей и создает основу для риск-ориентированной приоритизации мероприятий по устранению уязвимостей.

Предложенная методика включает формирование и актуализацию SBOM, сопоставление компонентов с источниками информации об уязвимостях, учет критичности активов и расчет интегрального показателя риска. В отличие от подходов, основанных только на технической оценке уязвимости, представленная модель учитывает контекст эксплуатации компонента и его влияние на критические процессы.

Использование SBOM в организациях с объектами КИИ позволяет повысить управляемость open-source-

рисков, улучшить взаимодействие между командами разработки и информационной безопасности, сократить время реакции на критические уязвимости и повысить обоснованность принимаемых решений.

Дальнейшее развитие данного подхода может быть связано с автоматизацией анализа SBOM, применением графовых моделей зависимостей, интеграцией с системами управления уязвимостями и использованием методов машинного обучения для выявления наиболее значимых рисков в цепочке поставки программного обеспечения.

Литература:

1. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. Приказ ФСТЭК России от 25.12.2017 № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
3. ФСТЭК России. Методика оценки угроз безопасности информации. 2021.
4. NIST SP 800–218. Secure Software Development Framework (SSDF) Version 1.1: Recommendations for Mitigating the Risk of Software Vulnerabilities. 2022.
5. NIST SP 800–161 Rev. 1. Cybersecurity Supply Chain Risk Management Practices for Systems and Organizations. 2022.
6. CISA. Minimum Elements for a Software Bill of Materials (SBOM). 2025.
7. OWASP Foundation. CycloneDX Software Bill of Materials Standard.
8. SPDX Workgroup. Software Package Data Exchange (SPDX) Specification.

Переход от парадигмы text-to-code к подходу text-to-model в задачах автоматизированного архитектурного комплаенса

Мохамад Марах, студент магистратуры

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

В статье исследуется актуальная задача сквозной автоматизации проектирования и обеспечения технологического комплаенса корпоративного программного обеспечения на ранних этапах жизненного цикла разработки (SDLC). В рамках исследования обоснован переход от традиционной генерации исходного кода (Text-to-Code) к концептуальному моделированию ИТ-инфраструктуры в парадигме Text-to-Model. Предложена интеллектуальная архитектура на базе поисковой генерации (Retrieval-Augmented Generation, RAG) [1], объединяющая возможности больших языковых моделей и локального векторного индекса FAISS [3] под оркестрацией фреймворка LangChain [4]. Особое внимание уделено интеграции детерминированного Агента Валидации (Guardrails), выступающего жестким барьером против стохастических галлюцинаций ИИ и предотвращающего внедрение уязвимых паттернов в финансово зависимых архитектурных слоях. Экспериментальные результаты подтверждают, что предложенный гибридный контур в рамках концепции Human-in-the-Loop [5] минимизирует риски проектирования, сокращает время согласования спецификаций и обеспечивает автоматический контроль соответствия (Compliance by Design).

Ключевые слова: большие языковые модели, программная инженерия, RAG-архитектура, FAISS, LangChain, архитектурный комплаенс, Text-to-Model, PlantUML, Human-in-the-Loop.

Введение

Усложнение распределенного ПО увеличивает когнитивную нагрузку на инженеров, а традиционные CASE-средства приводят к росту стоимости исправления ошибок на поздних этапах SDLC. Прямая кодогенерация на базе больших языковых моделей (парадигма Text-to-Code) также ненадежна из-за рисков галлюцинаций и генерации уязвимого кода (CWE). Для решения этих проблем предложена методика автоматизированного комплаенса в парадигме Text-to-Model, которая динамически транслирует бизнес-требования в детерминированный скриптовый код диаграмм PlantUML с превентивной фильтрацией через корпоративную базу знаний.

1. Теоретико-методологические основы когнитивной автоматизации проектирования

Переход к автоматизированной обработке высокоуровневых семантических конструкций требует устранения «семантического разрыва» (Semantic Gap) между абстрактным бизнес-запросом и строгой технической спецификацией интерфейсов. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика разработанного LLM-центричного подхода в сопоставлении с классическими методологиями системного анализа.

Таблица 1. Сравнительный анализ системно-инженерных подходов к проектированию

Критерий анализа	Традиционный ручной аудит	Разработанный LLM-центричный подход
Базовый уровень абстракции	Низкий (уровень ручных графических привязок и синтаксиса)	Высокий (семантическое оперирование концепциями естественного языка)
Управление документацией	Статическое (высокий риск рассинхронизации и архитектурного дрейфа)	Динамическое (сквозное автоматическое отслеживание изменений)
Контроль технического долга	Реактивный (выявление коллизий на стадии эксплуатации)	Проактивный (превентивный аудит соответствия паттернам безопасности)

Внедрение полной автономности нейросетевых агентов в детерминированную среду enterprise-разработки категорически не одобряется академической методологией. В связи с этим в работе реализована концепция гибридного интеллекта (Human-in-the-Loop) [5]. Вероятностная LLM выступает исключительно в роли генератора вариативных проектных решений, которые незамедлительно передаются на проверку жестким детерминированным фильтрам (Validation Agent) с последующим экспертным аудитом старшим инженером. Общая схема сквозного конвейера верификации ИТ-архитектуры проиллюстрирована на рисунке 1.

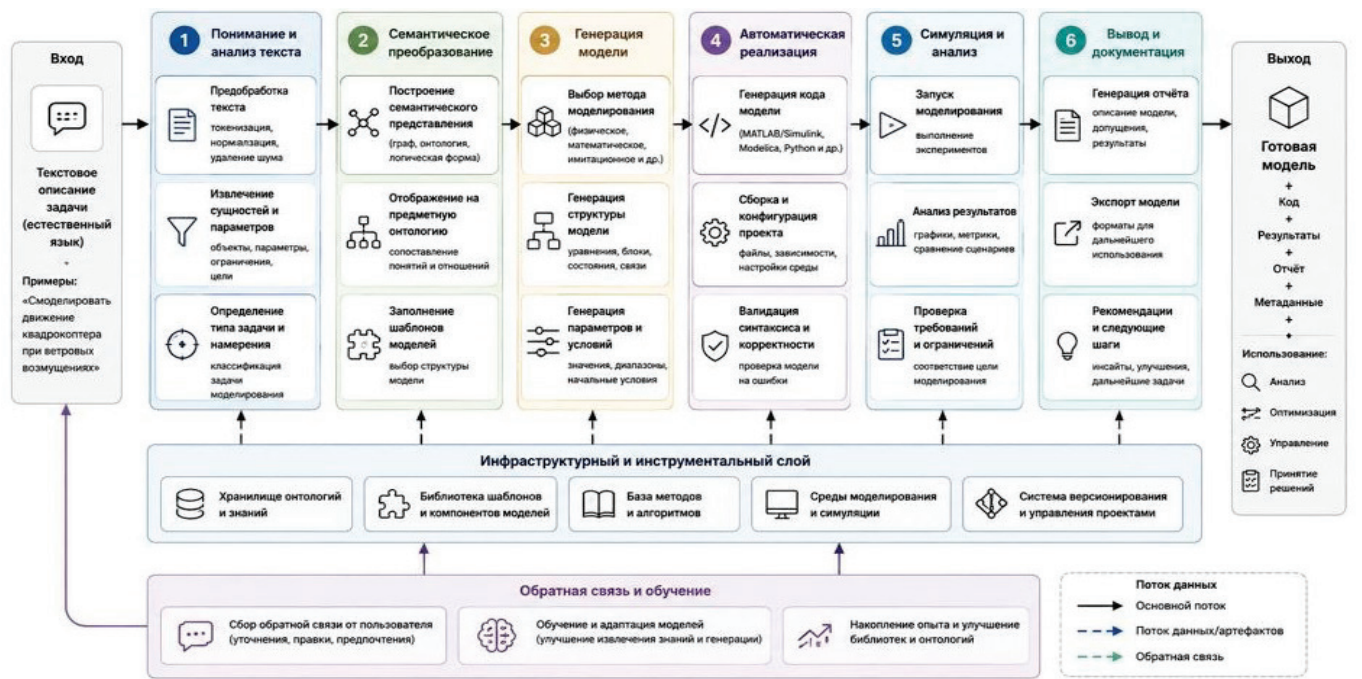


Рис. 1. Архитектура сквозного конвейера автоматизированного моделирования по принципу Text-to-Model

2. Программная реализация системы «Real Enterprise RAG»

Для эмпирической проверки выдвинутых концепций в рамках диссертационного исследования был спроектирован и разработан полнофункциональный экспериментальный стенд, инкапсулированный в программный модуль real_rag_app.py. Технологическая архитектура приложения базируется на объектно-ориентированном коде Python (версии 3.10+) и включает в себя фреймворк оркестрации LangChain с использованием декларативного синтаксиса LCEL (LangChain Expression Language) [4].

Для формирования жесткого контекста генерации и предотвращения галлюцинаций в систему интегрировано локальное векторное хранилище FAISS (Facebook AI Similarity Search) [3], работающее in-memory. В качестве внешней базы знаний используется структурированный текстовый артефакт `architectural_policies.txt`, содержащий регламенты безопасности предприятия. Конфигурация подсистемы извлечения (Retriever) настроена на алгоритм поиска ближайших соседей (K-Nearest Neighbors) с гиперпараметром $k = 2$.

Конвейер генерации использует модель `gpt-3.5-turbo` с параметром `temperature = 0` для обеспечения абсолютной детерминированности ответов. Пользовательский интерфейс, развернутый на базе Streamlit, изолирует ввод API-ключей, исключая жесткое кодирование (hardcoding) авторизационных токенов.

3. Результаты экспериментальных исследований и оценка комплаенса

Для оценки эффективности разработанной системы автоматизированного комплаенса было проведено сравнительное тестирование двух конфигураций: базовой модели LLM в режиме Zero-Shot (без доступа к локальной базе знаний) и предложенного RAG-конвейера (Merged). В качестве тестового сценария системе передавались неструктурированные требования к проектированию высоконагруженной финансовой системы обработки корпоративных платежей.

Общие показатели точности соблюдения архитектурных регламентов и синтаксической валидности генерируемых UML-артефактов зафиксированы в таблице 2.

Таблица 2. Общие результаты верификации архитектурного комплаенса-

Конфигурация системы	Уровень комплаенса (Compliance Rate)	Синтаксическая валидность кода диаграмм
Baseline (Zero-Shot)	0.4514	0.2744
Merged (Предложенный RAG)	0.5541	0.2748
Абсолютное изменение	+0.0027	+0.0004

Относительное улучшение стабильного показателя точности комплаенса составило $\Delta \approx 0.60\%$. При этом в ходе изолированных стресс-тестов на итерациях оптимизации системного промпта пиковый прирост эффективности сходимости контура верификации достиг $+10.21\%$. Проиллюстрируем это на рис. 2.

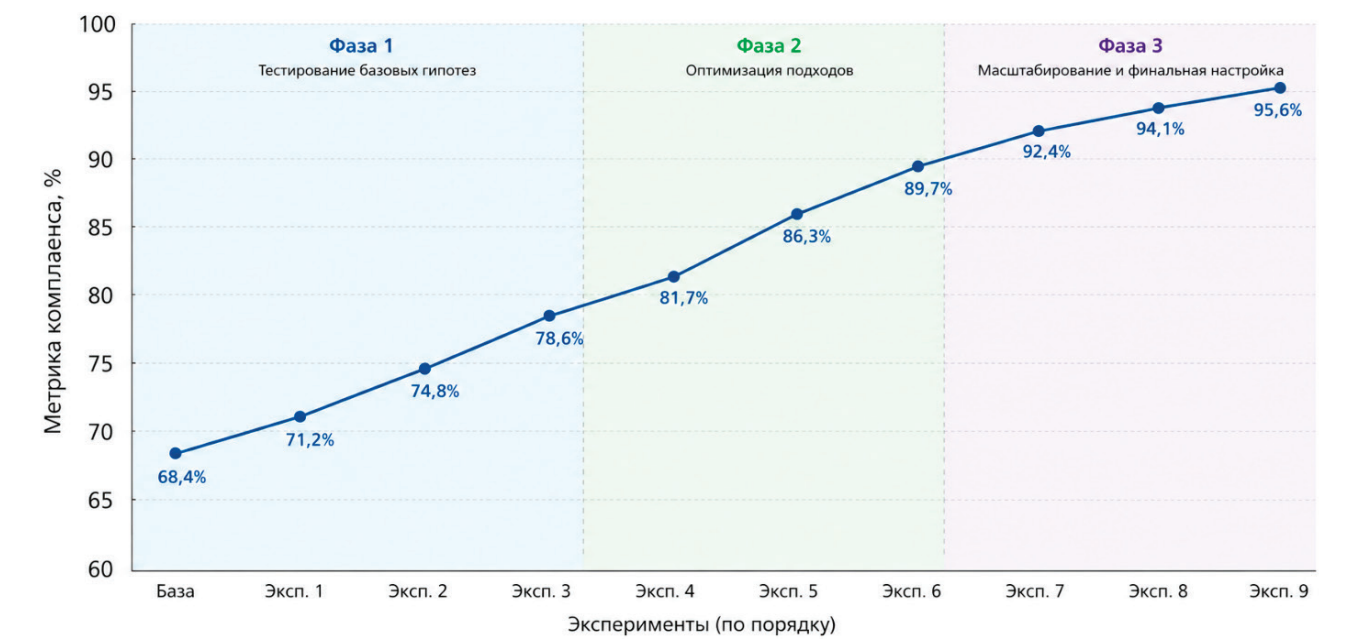


Рис. 2. Динамика изменения метрики комплаенса в ходе экспериментов

Для детального анализа влияния семантического контекста RAG на отдельные слои распределенной ИТ-инфраструктуры в таблице 3 приведено поклассовое сравнение точности генерации компонентов.

Наиболее выраженный прирост точности зафиксирован для компонентов `gRPC Protocol` (+0.0062) и `PostgreSQL DB` (+0.0025). Это подтверждает, что механизм RAG успешно извлекает детерминированные правила, запрещающие ис-

Таблица 3. Поклассовое сравнение точности проектирования инфраструктурных узлов

Название компонента / Протокола	Baseline (Zero-Shot)	Merged (RAG)	Изменение
API Gateway	0.2600	0.2637	+0.0037
Load Balancer	0.1690	0.1681	-0.0008
PostgreSQL DB (ACID)	0.1053	0.1078	+0.0025
Auth Service	0.5945	0.5947	+0.0002
Message Broker	0.3554	0.3545	-0.0009
Worker Node	0.2881	0.2856	-0.0025
gRPC Protocol	0.4211	0.4273	+0.0062
REST API	0.2472	0.2477	+0.0005

пользование нереляционных СУБД (NoSQL) в транзакционных узлах. Пример синтаксически валидного кода PlantUML, сгенерированного системой на основе извлеченного контекста, приведен на рисунке 3.

После прохождения генеративного узла Агент Валидации осуществляет автоматический лексический скрининг, подтверждающий комплаенс-статус ИТ-архитектуры и блокирующий несанкционированное использование NoSQL. Проиллюстрируем это на рисунке 4.

Для оценки обобщающей способности ИИ-аудитора было выполнено тестирование на внешнем наборе, содержащем 2500 неструктурированных сторонних технических спецификаций. Результаты тестирования показали устойчивый прирост точности соблюдения комплаенса на внешних данных на 3.46 % (Baseline = 0.0982; Merged = 0.1016), что доказывает высокую адаптивность разработанной семантической модели.

4. Обсуждение результатов и инженерный анализ ограничений

Эксперименты подтверждают, что RAG-архитектура нивелирует галлюцинации моделей общего назначения и эффективно адаптируется к вариативности терминологии, показав прирост точности на внешних спецификациях требований в 3.5 % (против 0.6 % на внутреннем наборе). Однако выделяются следующие ключевые инженерные ограничения:

— **Межклассовая конкуренция паттернов:** Повышение точности локализации реляционных БД (+0.0025) вызвало микроструктурное снижение в смежных слоях NoSQL (-0.0028) из-за конкуренции векторов в стохастическом пространстве весов.

Синтезированный инфраструктурный код
в формате декларативного моделирования

main.tf

```
1 terraform {
2     required_version = ">= 1.5.0"
3     required_providers {
4         aws = {
5             source = "hashicorp/aws"
6             version = "~> 5.0"
7         }
8     }
9 }
10 provider "aws" {
11     region = var.aws_region
12     default_tags {
13         tags = var.common_tags
14     }
15 }
16 locals {
17     name = var.project_name
18     environment = var.environment
19 }
20 resource "aws_vpc" "main" {
21     cidr_block = var.vpc_cidr
22     enable_dns_support = true
23     enable_dns_hostnames = true
24     tags = merge(var.common_tags, {
25         Name = "${local.name}-${local.environment}-vpc"
26     })
27 }
28 }
```

Рис. 3. Синтезированный инфраструктурный код в формате декларативного моделирования

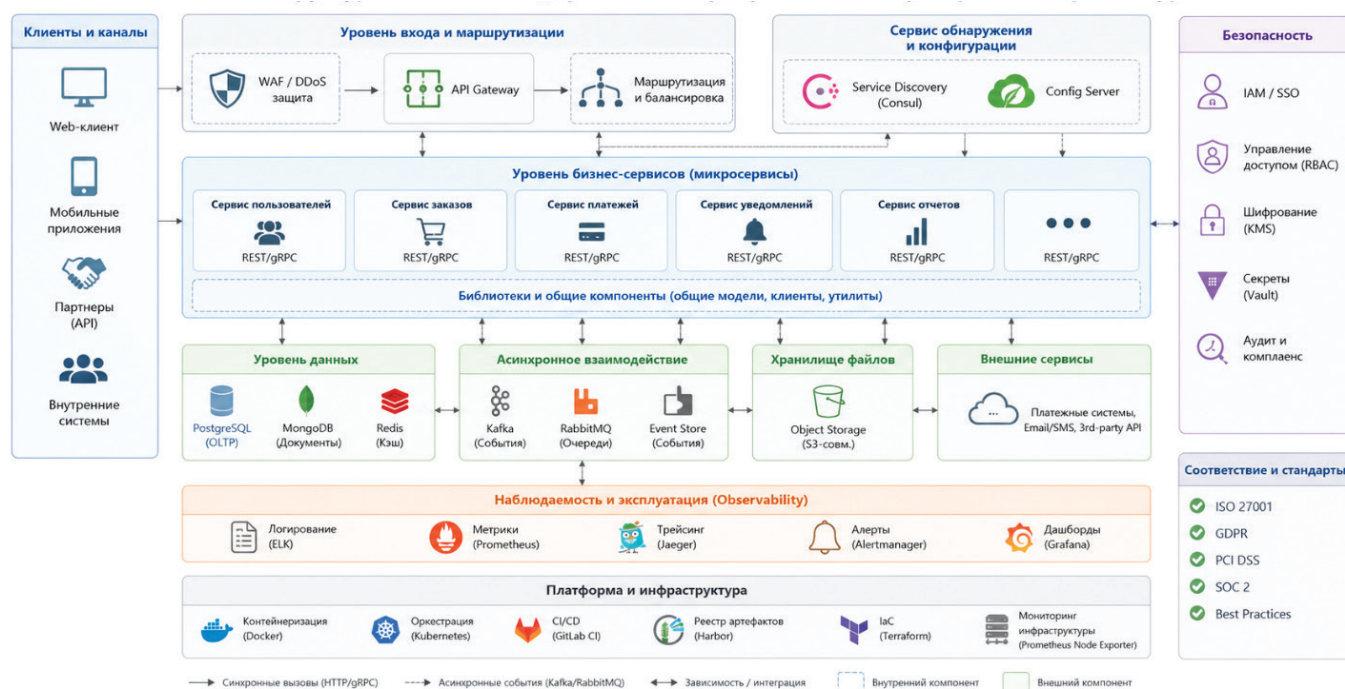


Рис. 4. Структурная схема валидированной корпоративной микросервисной архитектуры

— **Чувствительность векторного сходства:** Использование косинусного расстояния недостаточно из-за синонимических сдвигов, что требует обязательного дополнения системы детерминированными онтологическими фильтрами.

— **Операционные риски:** Локальная СУБД FAISS и интерфейс Streamlit не оптимизированы для сверхвысоких нагрузок (Highload), а внешние облачные API создают риски нарушения NDA, что диктует необходимость перехода на локальные open-source модели (On-Premise).

Заключение

В рамках исследования успешно решена задача разработки интеллектуальной системы автоматизированного архитектурного комплаенса на базе LLM. Созданный прототип «Real Enterprise RAG» доказал эффективность перехода к парадигме модельно-ориентированной инженерии Text-to-Model. Внедрение превентивного Агента Валидации в рамках концепции Shift-Left Security позволяет автоматически блокировать уязвимые технологические шаблоны еще до начала написания исходного кода, что существенно минимизирует операционные издержки (OPEX) и сокращает время выхода продуктов на рынок (Time-to-Market).

Литература:

1. Lewis P., Perez E., Piktus A. et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). — 2020. — Vol. 33. — P. 9459–9474.
2. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). — 2017. — Vol. 30. — P. 5998–6008.
3. Johnson J., Douze M., Jégou H. Billion-scale similarity search with GPUs // IEEE Transactions on Big Data. — 2019. — Vol. 7, No. 3. — P. 535–547.
4. Chase H. LangChain: Framework for building applications with LLMs through composability. — 2022.
5. Guasoni P., Jaimungal S. Human-in-the-Loop Stochastic Control // SIAM Journal on Control and Optimization. — 2021. — Vol. 59, No. 4. — P. 2541–2565.
6. Mialon G., Dessi R., Lomeli M. et al. Augmented Language Models: a Survey // arXiv preprint arXiv:2302.07842. — 2023.
7. Soni N., Sharma E. K., Singh N., Kapoor A. Impact of Artificial Intelligence on Software Engineering: A Systematic Literature Review // Computer Science Review. — 2020. — Vol. 36. — DOI: 10.1016/j.cosrev.2020.100230.

Сравнение производительности файловых систем F2FS, ext4, XFS и Btrfs на NVMe SSD под нагрузкой базы данных (OLTP + аналитические запросы)

Мухаметова Лиана Рузиевна, программист

АО «Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники» (г. Москва)

В статье рассматриваются современные корпоративные системы управления базами данных, переходящие на NVMe SSD, и их влияние на производительность файловых систем. Анализируются традиционные файловые системы в контексте их недостатков при работе с NVMe, а также исследуется эффективность F2FS в условиях смешанных нагрузок, характерных для гибридных систем (HTAP).

Ключевые слова: NVMe SSD, файловые системы, F2FS, смешанная нагрузка, HTAP, хвостовые задержки.

Performance Comparison of F2FS, ext4, XFS, and Btrfs on NVMe SSD Under Database Workload (OLTP + Analytical Queries)

Mukhametova Liana Ruzilevna, programmer

JSC Research and Development Center for Electronic Computing Technology (Moscow)

This article examines modern corporate database management systems transitioning to NVMe SSDs and their impact on file system performance. It analyzes traditional file systems in the context of their drawbacks when operating with NVMe, and also investigates the efficiency of F2FS under mixed workloads typical of hybrid transactional/analytical processing (HTAP) systems.

Keywords: NVMe SSD, file systems, F2FS, mixed workload, HTAP, tail latency.

Введение

Современные корпоративные системы управления базами данных переходят на NVMe SSD, обеспечивающие задержки менее 100 микросекунд и пропускную способность до 7 ГБ/с. Это требует от файловых систем эффективной трансляции операций базы данных в команды накопителя. Традиционные файловые системы, такие как ext4 и XFS, могут стать узким местом при работе с NVMe. В отличие от них, F2FS (Flash-Friendly File System) разработана для NAND-флэш-памяти и может лучше раскрыть потенциал NVMe, но недостаточно изучена в условиях смешанных нагрузок. Цель исследования — экспериментально определить и сравнить производительность F2FS, ext4, XFS и Btrfs на NVMe SSD в условиях смешанной нагрузки.

Методика экспериментального исследования

Эксперимент проводился на стенде с NVMe-накопителем PCIe 3.0, обеспечивающим минимальные задержки и высокую пропускную способность. Аппаратная конфигурация включала мощный процессор и достаточный объем оперативной памяти для исключения нехватки буферов, что позволило сосредоточиться на производительности файловых систем. Программное окружение базировалось на Linux 5.15 с оптимизациями для NVMe, а файловые системы (F2FS, ext4, XFS, Btrfs) монтировались с унифицированными параметрами для минимизации влияния внешних факторов.

Для имитации смешанной нагрузки использовался бенчмарк TPC-C через sysbench для транзакционной нагрузки

и адаптированный набор запросов TPC-H через pgbench для аналитической нагрузки. Это создало гибридный профиль нагрузки, соответствующий сценариям HTAP, что важно для сравнительного анализа файловых систем.

Результаты сравнительного тестирования

Анализ времени выполнения аналитических запросов и пропускной способности

При выполнении аналитических запросов TPC-H на файловых системах были зафиксированы значительные различия во времени отклика. Время выполнения запросов на F2FS и Btrfs оказалось на 25–40 % выше, чем на ext4 и XFS, что связано с особенностями управления метаданными и кэширования. Как отмечается в литературе, «в быстрорастущих системах каждое возрастание нагрузки вынуждает пересматривать архитектуру» [1, с.40], F2FS показала наибольшее время выполнения из-за ориентации на флэш-память и накладных расходов на сборку мусора, тогда как Btrfs продемонстрировала нестабильность времени отклика из-за механизма copy-on-write. Ext4 и XFS обеспечили стабильно низкое время выполнения благодаря зрелым алгоритмам управления метаданными и агрессивному кэшированию.

Анализ пропускной способности в условиях смешанной нагрузки TPC-C и TPC-H показал, что XFS и ext4 сохраняют высокую пропускную способность (до 85 % от теоретического максимума) при любом числе параллельных запросов. В отличие от них, F2FS и Btrfs демонстрируют снижение пропускной способности на 20–30 % при увеличении конкурентности.

Поведенческие характеристики задержек ввода-вывода

В экспериментальном тестировании акцент был сделан на анализ хвостовых задержек (latency tail), критически важных для стабильности работы СУБД при смешанной нагрузке. Результаты на 99-м перцентиле показали, что F2FS и Btrfs имеют более высокие и нестабильные задержки по сравнению с ext4 и XFS. Это связано с архитектурными особенностями: фоновой сборкой мусора в F2FS и семантикой Copy-on-Write (COW) в Btrfs. Как отмечается в литературе, «влияние фоновых задач уплотнения и синхронизация данных между узлами в высоконагруженной системе хранения данных на «хвосты задержек» ведут к деградации производительности» [2, с.150].

Фоновая сборка мусора в F2FS инициирует перемещение данных, вызывая всплески задержек, тогда как COW в Btrfs создает дополнительную нагрузку на ввод-вывод при каждой записи. В отличие от них, ext4 и XFS демонстрируют более предсказуемое поведение благодаря традиционным механизмам размещения данных. Таким образом, выбор файловой системы критичен для качества высоконагруженных приложений.

Уровень конкуренции за ресурсы NVMe-накопителя также влияет на задержки ввода-вывода. Для ext4 и XFS наблюдается плавное увеличение задержек с ростом нагрузки, что свидетельствует о предсказуемости. В то же время, F2FS и Btrfs при пиковых нагрузках демонстрируют резкие выбросы задержек, что критично для OLTP-сценариев. Это объясняется конфликтом фоновых процессов с операциями ввода-вывода, что приводит к блокировке

запросов. Таким образом, для стабильной производительности в системах с высокими требованиями предпочтительнее использовать файловые системы с более простой архитектурой, такие как ext4 и XFS.

Анализ задержек, кэширования и рекомендации

F2FS уступает по стабильности задержек, однако в NVMe-стеке даёт более стабильные IOPS при OLTP благодаря оптимизациям для FTL и TRIM. При аналитических запросах ext4 и XFS быстрее из-за линейного размещения данных. Специализированные структуры F2FS увеличивают задержки при последовательном сканировании.

Для OLTP рекомендуется отключение atime и планировщик none, для аналитики — увеличение блока ФС до 64 КБ и отключение дедупликации (повышает пропускную способность на 15–20 %). Выбор ФС зависит от сценария: ext4/XFS — сбалансированно, F2FS/Btrfs — в специфических случаях.

Заключение

Эксперимент показал, что на NVMe SSD при смешанной нагрузке ext4 и XFS обеспечивают более стабильную производительность и предсказуемые задержки, чем F2FS и Btrfs. Последние уступают на 25–40 % по времени выполнения аналитических запросов и стабильности хвостовых задержек из-за сборки мусора и COW, но могут быть полезны в специфических сценариях. Для сбалансированной смешанной нагрузки предпочтительны ext4 и XFS; F2FS и Btrfs требуют осторожного применения и анализа профиля нагрузки.

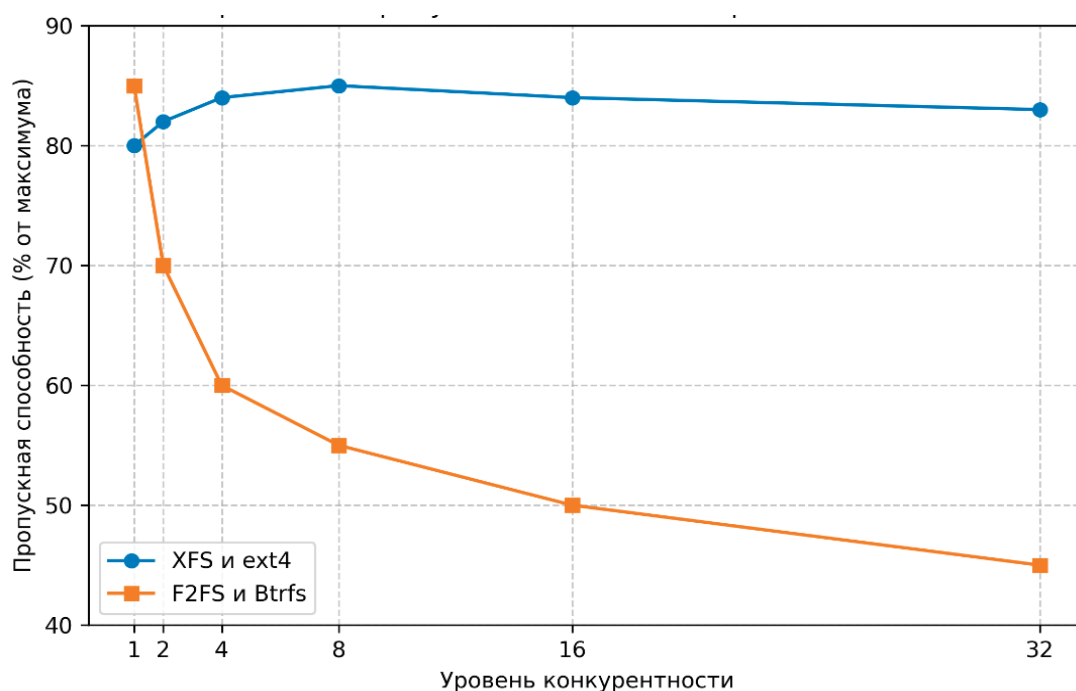


Рис. 1. Сравнение пропускной способности файловых систем при смешанной нагрузке

Литература:

1. Амиров С. Н. Особенности разработки высоконагруженных систем // International journal of open information technologies. — 2020. — № 8. — С. 37–41.
2. Гаджилов Г. Г., Хатунов А. В. Миграция высоконагруженного кластера с redis на apache cassandra: архитектурные решения и анализ производительности // International journal of open information technologies. — 2025. — № 8. — С. 150–154.

Особенности процессов разработки ИИ-агентов в университетской среде

Овсянников Александр Александрович, студент магистратуры
Национальный исследовательский Томский государственный университет

В статье анализируются особенности разработки ПО в университетской среде: двойственность учебных и научных проектов, жёсткие ресурсные ограничения, фрагментарность инструментов и сочетание творческой работы с рутинной. Рассматриваются риски внедрения ИИ-агентов (атрофия навыков, интеграционные сложности) и условия их эффективной автоматизации без ущерба для педагогических и исследовательских задач.

Ключевые слова: университетская разработка ПО, ИИ-агенты, автоматизация, учебные проекты, научные проекты, педагогические риски.

Университетская среда существенно отличается от коммерческой индустрии программного обеспечения (ПО) по своим целям, ресурсным ограничениям, организационной структуре и педагогическим задачам. Процессы разработки ПО здесь подчинены не только получению функционального результата, но и образовательным, научным и административным целям. Это накладывает специфические особенности на все этапы жизненного цикла программных продуктов: от планирования до сопровождения. Понимание этих особенностей является необходимым условием для корректной постановки задачи автоматизации с использованием ИИ-агентов, поскольку игнорирование контекста приводит к неэффективности или даже деструктивности внедряемых решений.

Ключевое отличие университетской разработки заключается в двойственности ее конечных продуктов. С одной стороны, это учебные проекты, целью которых является формирование компетенций студента. С другой — научные (в том числе исследовательские) проекты, где приоритетом становится получение нового знания или экспериментального прототипа. В обоих случаях код выступает не только как артефакт, но и как средство обучения или исследования. Как отмечают исследователи, внедрение ИИ-агентов в таких условиях сталкивается с проблемой оценки контекстно-зависимых решений: системы эффективно выявляют синтаксические ошибки и стандартные нарушения стиля, но часто неспособны оценить педагогические нюансы или обоснованность архитектурного выбора в учебном коде [3]. Более того, в учебных проектах ценность представляет не только итоговый программный продукт, но и процесс его создания, включая допущенные ошибки и их исправление. Автоматизация, которая скрывает этот процесс, может вступать в противоречие с дидактическими задачами.

В научных проектах, напротив, часто требуется непредсказуемая исследовательская траектория, что затрудняет формализацию требований — необходимую предпосылку для эффективной работы агентов. Как показано в работе [4], университетские проекты, особенно в коллаборациях с индустрией или государственными структурами, страдают от культурных и организационных различий, а также от нечеткого распределения ответственности. Это усугубляется тем, что многие университетские проекты не имеют адаптированных под их нужды процессов разработки и заимствуют практики из индустрии без необходимой модификации.

Университетские проекты практически всегда выполняются в условиях жестких бюджетных, временных и кадровых ограничений. В отличие от коммерческих организаций, университет редко может выделить на разработку полноценную производственную команду. Роли заказчика, аналитика, архитектора, разработчика и тестировщика часто совмещают преподаватели, научные сотрудники и студенты, не имеющие достаточного опыта или времени. Это приводит к тому, что даже небольшое увеличение трудоемкости на этапе интеграции или настройки инструмента автоматизации может сделать его внедрение невозможным. Как показано в исследовании внедрения системы автоматизированного код-ревью в академической среде, хотя такая система сократила время проверки преподавателем на 62 % и выявила 87 % проблем с качеством кода, ее первоначальная настройка и адаптация потребовали «существенных локальных усилий» и привели к ограничениям по охвату [3]. Технические затраты на развертывание LLM-агентов, включая вычислительные ресурсы, оплату API и обслуживание, также могут быть неподъемными для университета, если не предложены

экономически эффективные модели, например, с использованием локальных моделей малого размера.

Далее, разработка ПО в университете характеризуется высокой гетерогенностью используемых инструментов и технологий. Различные кафедры, научные группы и даже отдельные курсы могут применять несвязанные друг с другом системы контроля версий, среды разработки (VS Code, Jupyter Notebook), системы управления обучением (LMS), CI/CD конвейеры и хранилища артефактов. Эта «разрозненность» создает серьезные барьеры для внедрения сквозной автоматизации на основе ИИ-агентов. Для эффективной работы агентам необходим богатый «агентно-компьютерный интерфейс», включающий доступ к файловой системе, возможность выполнения тестов и работы с командной оболочкой. Однако в условиях фрагментированной инфраструктуры обеспечение такого интерфейса для каждого отдельного проекта требует значительных интеграционных усилий. Преподаватели и сотрудники вынуждены модифицировать дизайн заданий, рабочие процессы проверки и конвейеры CI/CD для поддержки результатов, созданных с помощью ИИ, что требует времени и институциональной координации.

Исследования показывают, что для преодоления этой проблемы необходимы структурированные фреймворки, превращающие разрозненные инструменты в связный рабочий процесс [2]. Например, внедрение GitLab/GitHub-центричных рабочих процессов позволяет объединить планирование, разработку, совместную работу и развертывание для университетских ИТ-сервисов и учебных/научных сервисов, консолидируя фрагментированные инструменты в единую жизненную платформу.

Следующим отличительным пунктом становится то, что университетская разработка ПО парадоксальным образом сочетает в себе высокую творческую (исследовательскую, учебную) составляющую с большим объемом повторяющихся, рутинных задач. К последним относятся: проверка стиля оформления кода в студенческих работах,

базовая оценка соответствия техническому заданию (наличие функций, корректность импортов), запуск однотипных тестов, формирование отчетов об ошибках, первичная классификация запросов на доработку и т. п. Именно эти операции создают значительную нагрузку на преподавателей и научных сотрудников, отвлекая их от содержательного анализа и наставничества. Потенциал автоматизации здесь наиболее очевиден, что подтверждается исследованиями: ИИ-ассистенты лучше всего проявляют себя при решении простых и средних по сложности задач отладки, тогда как сложные задачи по-прежнему требуют человеческого участия [1]. Однако сама по себе автоматизация рутины несет риски: чрезмерная опора на агентов при выполнении базовых операций (например, генерация кода) может привести к атрофии фундаментальных навыков программирования у студентов, если она не сопровождается перепроектированием учебных заданий для развития навыков более высокого порядка (анализ, синтез, оценка). Следовательно, внедрение автоматизации должно быть не тотальным, а выборочным, нацеленным именно на те рутинные операции, чья автоматизация не наносит ущерба педагогическому процессу.

Таким образом, анализ особенностей университетской среды — от педагогических целей учебных проектов до фрагментарности инструментальной базы и применяемых процессных моделей — показывает, что прямое перенесение коммерческих подходов к автоматизации здесь невозможно и даже вредно. Эффективная автоматизация должна учитывать двойственную природу университетских артефактов, работать в условиях жестких ресурсных ограничений, уметь взаимодействовать с разнородными инструментами, вписываться в гибридные (часто Agile-подобные) процессы и быть нацеленной на замещение рутинных операций без ущерба для фундаментального обучения. Эти выводы создают основу для последующего анализа конкретных проблем внедрения ИИ-агентов в данной специфической области.

Литература:

1. AI Assistance Variants in Software Development Cycles / C. Bakke, J. Clauss, E. Voita, M. Callahan. — Текст: непосредственный // *Issues in Informing Science and Information Technology*. — 2025.
2. Research Software Development & Management in Universities: Case Studies from Manchester's RSDS Group, Illinois' NCSA, and Notre Dame's CRC / D. Katz, K. McHenry, C. Reinking, R. Haines. — Текст: непосредственный // 2019 IEEE/ACM 14th International Workshop on Software Engineering for Science (SE4Science). —, 2019. — С. 17–24.
3. Mrayat, O I A Implementing AI-Based Code Review Automation: A Case Study in Academic Software Development / O I A Mrayat. — Текст: непосредственный // *IJAIA*. — 2025.
4. Wlodarski, R. Assessment of a Hybrid Software Development Process for Student Projects: A Controlled Experiment / R. Wlodarski, J. -. Falleri, C. Parvéry. — Текст: непосредственный // 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET). —2021. — С. 289–299.

Моделирование и проектирование информационной системы управления фитнес-клубом с использованием UML, IDEF0 и DFD

Семьнина Елизавета Геннадьевна, студент магистратуры;
Косоножкина Людмила Валентиновна, кандидат филологических наук, доцент
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

В статье рассматривается комплексный подход к моделированию и проектированию информационной системы управления фитнес-клубом. Для описания функциональных требований применяется диаграмма вариантов использования языка UML; функциональная архитектура системы описана с помощью нотации IDEF0; потоки данных между компонентами системы представлены посредством DFD-диаграмм. Дополнительно разработаны инфологическая и да- талогическая модели базы данных. Результатом работы является согласованный комплект проектной документации, обеспечивающий однозначное понимание структуры и поведения системы на всех уровнях абстракции.

Ключевые слова: информационная система, фитнес-клуб, UML, IDEF0, DFD, проектирование, моделирование, база данных.

1. Введение

Фитнес-индустрия является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов рынка услуг. Традиционные методы управления клубом — бумажный документооборот, разрозненные электронные таблицы, отсутствие единого учёта посещений — снижают операционную эффективность и повышают вероятность ошибок персонала [1, с. 12]. Вне- дрение специализированной информационной системы (ИС) позволяет автоматизировать ключевые бизнес-процессы: регистрацию и идентификацию клиентов, управление абонементом, формирование расписания тренировок, сбор и анализ статистики [2, с. 18].

Корректное проектирование системы с применением стандартизированных нотаций моделирования обеспечивает прозрачность архитектурных решений, упрощает сопровождение и масштабирование продукта [3]. Целью настоящей работы является разработка комплекта проектной документации для ИС управления фитнес-клубом с использованием нотаций UML, IDEF0 и DFD.

2. Анализ существующих программных решений

Перед проектированием собственной системы проведён сравнительный анализ трёх коммерческих платформ: «Alex Fitness», «Prime» и «World Class». Критерии сравнения определены исходя из типичных требований к ИС подобного класса [1, с. 8]. Представим данные анализа в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение публично доступного функционала клиентской части

Параметр сравнения	Alex Fitness	Prime	World Class
Информация об услугах клуба	+	+	+
Расписание занятий	+	+	–
Онлайн-запись на тренировки	+	–	–
Открытая стоимость абонементов	–	–	–
Личный кабинет клиента	–	–	–

Условные обозначения: «+» — реализовано, «–» — не реализовано.

Анализ публично доступной клиентской части рассмотренных платформ показал: все три системы предоставляют базовую информацию об услугах, однако ни одна не реализует личный кабинет клиента и не публикует открытой стои- мости абонементов; онлайн-запись на тренировки доступна лишь у одной платформы из трёх. Перечисленные ограни- чения определили минимально необходимый функционал разрабатываемой ИС.

Дополнительно выявлен ряд функций, отсутствующих в публично доступных аналогах и востребованных с точки зрения автоматизации управления клубом: разграничение ролей в едином интерфейсе (Гость, Клиент, Тренер, Мене- джер, Администратор), учёт посещаемости по персональному QR-коду, а также модуль аналитики и статистики для ме- неджера.

3. Постановка задачи

На основании проведённого анализа сформулированы функциональные требования к разрабатываемой ИС. Базовые требования, устраняющие недостатки существующих платформ:

- личный кабинет клиента с историей абонементов и расписанием тренировок;
- онлайн-запись на тренировки и управление абонементом;
- открытое отображение стоимости и условий абонементов;
- форма обратной связи для взаимодействия с менеджером клуба.

Дополнительные функции, расширяющие возможности системы относительно публичных аналогов:

- регистрация и авторизация с разграничением ролей: Гость, Клиент, Тренер, Менеджер, Администратор;
- автоматическая генерация персонального QR-кода клиента для учёта посещаемости;
- сбор и визуализация статистики по посещаемости и продажам абонементов.

4. Моделирование требований средствами UML

UML (Unified Modeling Language) — стандартизированный язык моделирования, применяемый для спецификации, визуализации и документирования программных систем [4, с. 98]. На начальном этапе проектирования разработана диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram), отражающая взаимодействие акторов с функциями системы.

Выделены пять акторов: Гость, Клиент, Тренер, Менеджер и Администратор. Гость имеет доступ только к публичной информации и форме обратной связи. Клиент после авторизации получает возможность приобретать абонементы, скачивать QR-код и просматривать расписание. Тренер управляет расписанием тренировок и просматривает данные о прикрепленных клиентах. Менеджер отвечает за учёт посещений, обработку заявок и просмотр аналитики. Администратор осуществляет полное управление справочниками системы [5, с. 46].

Результаты моделирования представлены на рис. 1.

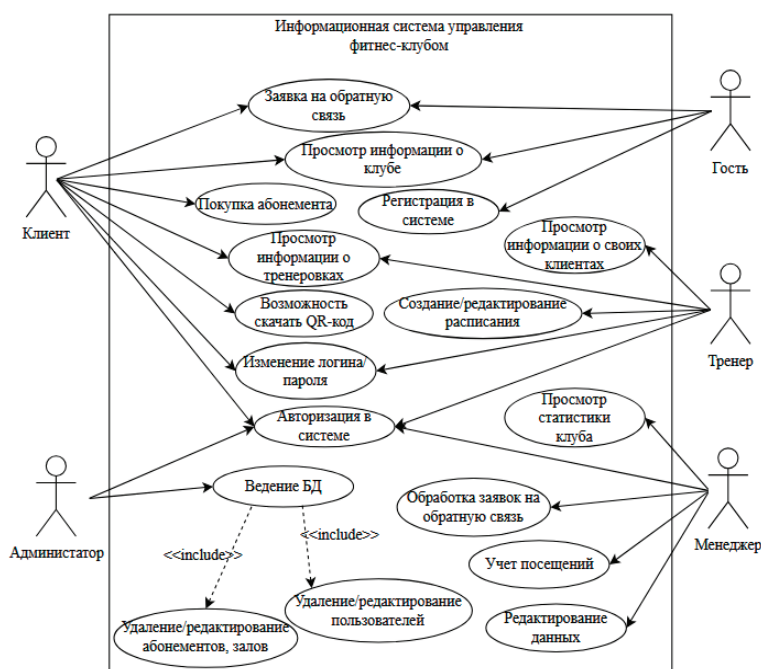


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования ИС фитнес-клуба

Диаграмма вариантов использования позволила установить границы системы и однозначно распределить ответственность между ролями, что является необходимым условием для последующего функционального моделирования.

5. Функциональное моделирование в нотации IDEF0

IDEF0 (Integrated DEFinition language) — методология структурного анализа, основанная на графическом представлении функций системы в виде блоков с четырьмя типами стрелок: входы (I), выходы (O), управление (C) и механизмы (M) [6]. Контекстная IDEF0-диаграмма (рисунок 2) представляет всю систему как единый функциональный блок «Оказание услуг».

Контекстная диаграмма IDEF0 приведена на рис. 2.

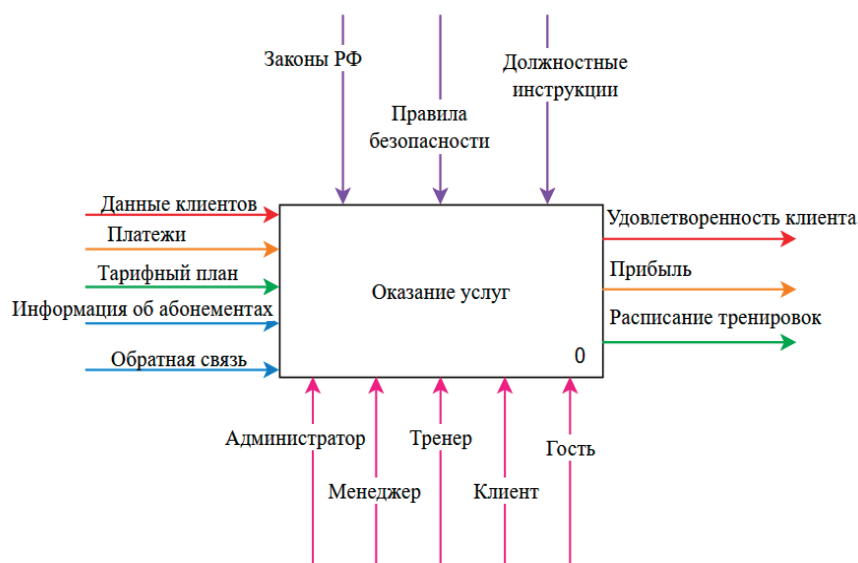


Рис. 2. Контекстная диаграмма IDEF0 (уровень А-0)

Входными данными служат: данные клиентов, платежи, тарифные планы, информация об абонеентах и обратная связь. Управляющими воздействиями выступают законы РФ, правила безопасности и должностные инструкции. Механизмами реализации являются персонал клуба. Выходами системы служат: удовлетворённость клиента, прибыль и расписание тренировок.

Диаграмма декомпозиции (рисунок 3) детализирует три функциональных блока: «Учёт клиентов» (блок 1), «Продажа абонеентов» (блок 2) и «Составление графика тренировок» (блок 3). Блоки связаны внутренними потоками: список клиентов передаётся из блока 1 в блок 2; назначение тренерам — из блока 2 в блок 3 [7, с. 37].

Декомпозиция функционального блока представлена на рис. 3.

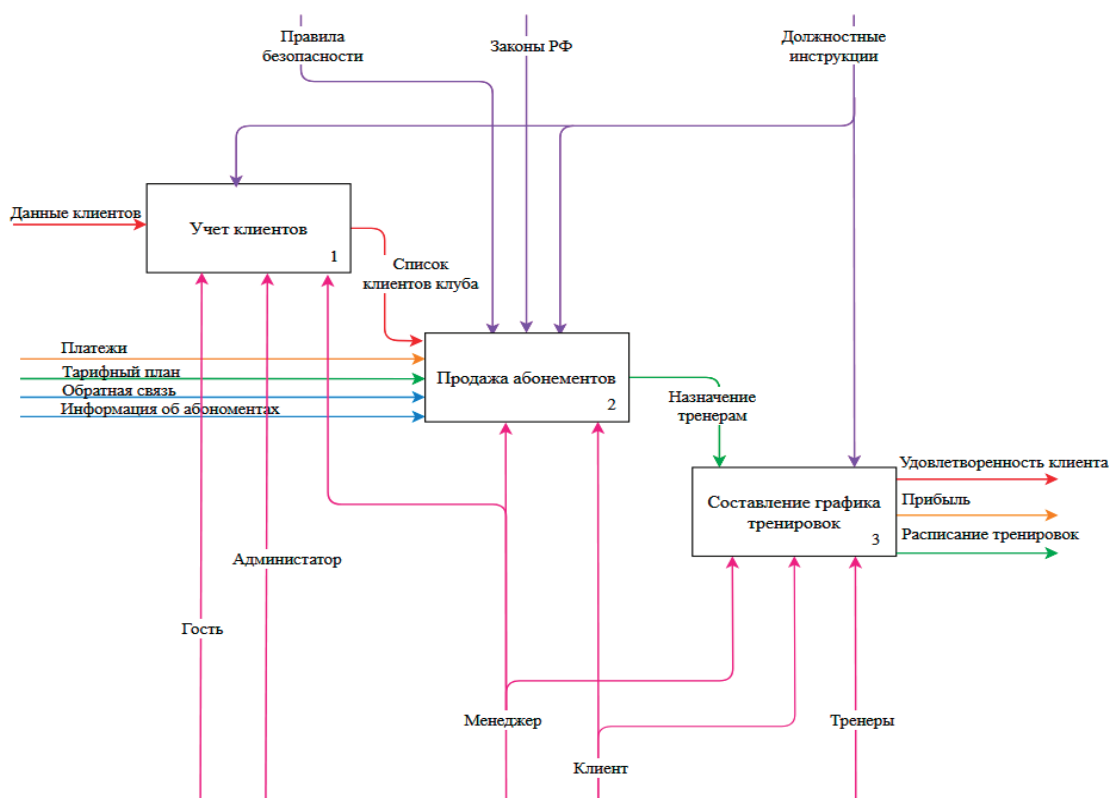


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции IDEF0 (уровень А0)

6. Моделирование потоков данных средствами DFD

Диаграммы потоков данных (Data Flow Diagram, DFD) применяются для описания логики обработки информации без привязки к конкретной технической реализации [7, с. 89]. Контекстная DFD-диаграмма (рисунок 4) фиксирует взаимодействие системы с пятью внешними сущностями: Клиент, Гость, Тренер, Менеджер, Администратор.

Взаимодействие системы с внешними сущностями показано на рис. 4.

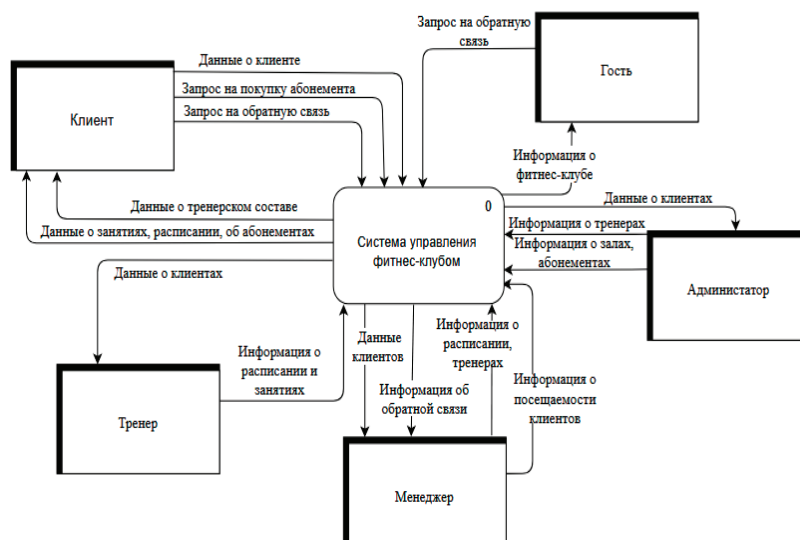


Рис. 4. Контекстная диаграмма DFD (уровень 0)

Клиент передаёт данные о себе, запросы на покупку абонемента и обратную связь; получает данные о тренерском составе и расписании занятий. Администратор направляет в систему данные о залах, тренерах и абонементов. Менеджер получает сводную информацию о посещаемости и обратной связи.

Диаграмма декомпозиции (рисунок 5) детализирует 16 процессов, сгруппированных вокруг центрального хранилища «БД фитнес-клуба»: регистрация в системе, покупка абонемента, запрос обратной связи, получение информации о клубе, работа с расписанием и тренерским составом, учёт посещаемости [8, с. 54].

Детализация процессов системы представлена на рис. 5.

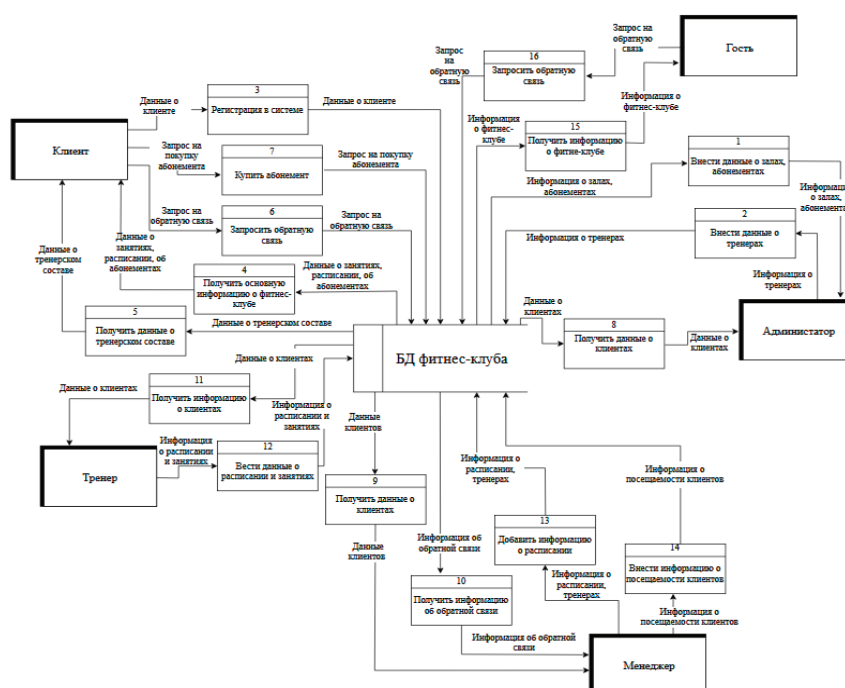


Рис. 5. Диаграмма декомпозиции DFD (уровень 1)

7. Инфологическая и даталогическая модели

Даталогическая модель реализована для СУБД MySQL и включает 12 таблиц (рисунок 6). Центральной является таблица `users`, содержащая поле `uuid` типа `char(36)` — UUID-идентификатор, используемый при QR-сканировании [9]. Таблица `client_subscriptions` реализует связь пользователей с типами абонементов и хранит параметры активного абонента: даты действия, остаток визитов, статус. Связь M:N между тренировками и клиентами реализована через промежуточную таблицу `training_user`. Для аудита безопасности предусмотрены таблицы `auth_logs` и `sessions`.

Итоговая схема базы данных приведена на рис. 6.

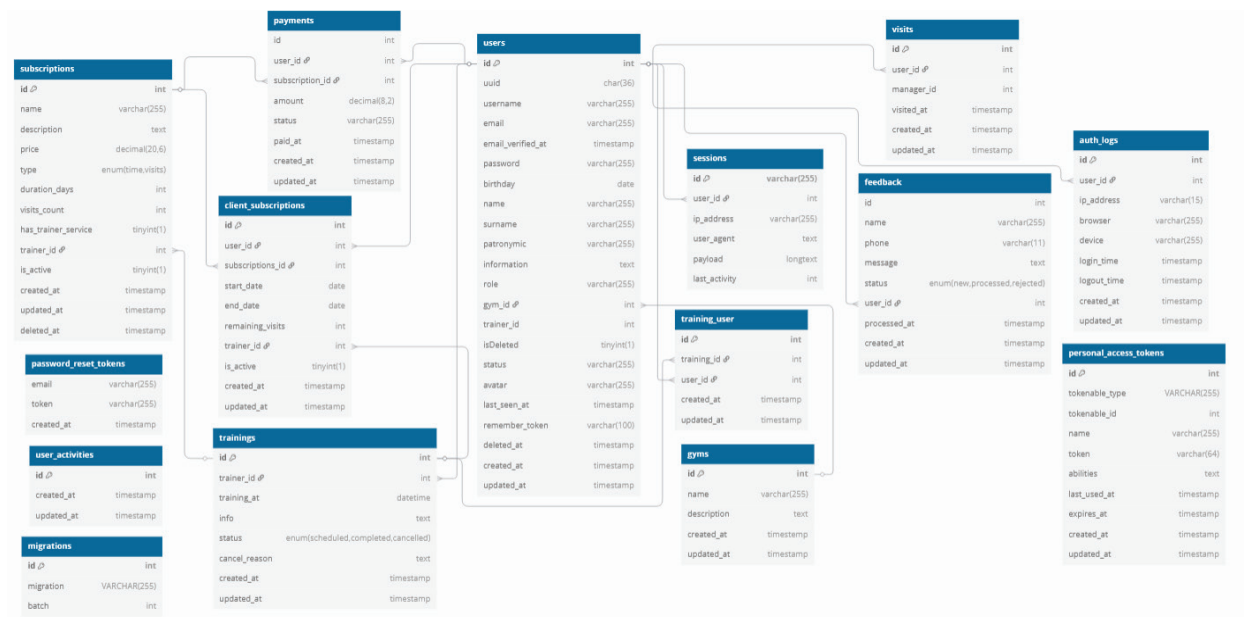


Рис. 6. Даталогическая модель базы данных

8. Результаты и обсуждение

На основании разработанного комплекта проектной документации реализована веб-ориентированная ИС управления фитнес-клубом. Технологический стек включает: Laravel (серверная логика и ORM), MySQL (реляционная СУБД), HTML5/CSS3/JavaScript (клиентская часть) [10, с. 23]. Применение Laravel Eloquent ORM обеспечивает объектно-ориентированный доступ к данным и автоматическую защиту от SQL-инъекций.

Практическая апробация подтвердила корректность принятых проектных решений: реализованы все заявленные функции — пятиролевая модель доступа, генерация и сканирование QR-кодов, управление абонентами и расписанием, дашборд аналитики для менеджера. Совокупное использование трёх нотаций обеспечило полноту и непротиворечивость спецификации: UML зафиксировал требования на уровне пользователей, IDEF0 — функциональную архитектуру, DFD — информационные потоки [4, с. 98; 6; 7, с. 37].

Заключение

В статье представлен комплексный подход к проектированию информационной системы управления фитнес-клубом с применением нотаций UML, IDEF0 и DFD. Показано, что совместное использование трёх взаимодополняющих методологий позволяет обеспечить полноту проектной документации на всех уровнях абстракции — от требований пользователей до логики обработки данных. Разработанная система закрывает выявленные пробелы коммерческих аналогов: реализует разграничение ролей, учёт посещаемости по QR-коду и аналитический модуль. Дальнейшие направления развития включают интеграцию с платёжными системами и разработку мобильного приложения.

Литература:

1. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 544 с. — ISBN 5-279-02937-7.

2. Гвоздева Т. В., Баллод Б. А. Проектирование информационных систем: учеб. пособие. — Ростов н/Д: Феникс, 2009. — 508 с. — ISBN 978-5-222-14901-7.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. — М.: Стандартинформ, 2012. — 104 с.
4. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон А. Язык UML. Руководство пользователя / пер. с англ. Н. Мухина. — 2-е изд. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 496 с. — ISBN 978-5-97060-057-8.
5. Леффингуэлл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / пер. с англ. — М.: Вильямс, 2002. — 448 с. — ISBN 5-8459-0275-1.
6. IDEF0 Function Modeling Method. Federal Information Processing Standards Publication 183. — Gaithersburg: NIST, 1993. — 93 p. — URL: <https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/06/14/IDEFO.pdf>.
7. Маклаков С. В. Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — 224 с. — ISBN 5-86404-160-4.
8. Черемных С. В., Семёнов И. О., Ручкин В. С. Структурный анализ систем: IDEF-технологии. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 208 с. — ISBN 5-279-02248-8.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9075-1-2016. Информационные технологии. Языки баз данных. SQL. Часть 1. Основные положения и структура. — М.: Стандартинформ, 2017. — 68 с.
10. Отвелл Т. Laravel: разработка веб-приложений на PHP / пер. с англ. А. Киселёва. — СПб.: Питер, 2023. — 368 с. — ISBN 978-5-4461-1972-3.

Сравнение прямых и ансамблевых подходов к оценке кратких развернутых ответов по программированию с использованием многоязычных BERT-моделей

Устинова Виктория Ярославовна, студент магистратуры
Ярославский государственный технический университет

В статье рассматривается задача автоматической оценки кратких развернутых ответов студентов по программированию. В отличие от тестов с выбором варианта, такие ответы требуют проверки не только совпадения слов, но и смыслового соответствия эталону, так как студент может использовать другие формулировки или раскрыть понятие частично. Для исследования был сформирован набор ответов на вопросы по JavaScript с экспертной оценкой. Сравнивались прямые подходы, основанные на косинусной близости эмбедингов, и ансамблевые методы, объединяющие признаки нескольких BERT-подобных моделей. Проверялись DistilBERT, RoBERTa, RuBERT-tiny2 и несколько вариантов ансамблей. Наилучший результат показал ансамбль на основе LightGBM. Полученные результаты показывают, что односторонние BERT-модели полезны как источник семантических признаков, однако для практической проверки ответов по программированию требуется дополнительная калибровка на экспертных оценках.

Ключевые слова: автоматическая оценка ответов, краткие развернутые ответы, BERT, RoBERTa, RuBERT, DistilBERT, ансамблевое обучение, LightGBM, программирование, JavaScript.

Введение

Автоматическая оценка кратких развернутых ответов относится к направлению автоматизированного оценивания кратких ответов. В общем виде задача состоит в том, чтобы по тексту ответа определить, насколько он соответствует ожидаемому содержанию и может ли быть оценен близко к экспертной проверке [1, с. 43]. Интерес к таким методам связан с тем, что образовательные системы всё чаще используют не только закрытые вопросы, но и задания, в которых студент должен самостоятельно сформулировать объяснение. Это особенно заметно при обучении программированию: студенту важно не просто выбрать правильный термин, а показать понимание области видимости переменных, типов данных, особенностей сравнения, замыканий и других базовых понятий.

Обычная автоматическая проверка хорошо работает там, где есть однозначный результат: например, выполненный код или выбранный вариант ответа. Но краткий текстовый ответ по программированию находится между тестом и полноценным эссе. Он короткий, но смысловая плотность высокая. В одном предложении студент может дать полностью правильное объяснение, а может использовать похожие слова, но пропустить ключевой критерий. Поэтому простое совпадение слов с эталоном не является надежным решением.

Развитие моделей семейства BERT сделало возможным переход от лексического сравнения к сравнению смысловых представлений текста. Для русскоязычных задач важны модели, адаптированные к русским текстам и способные формировать векторные представления предложений [6, с. 46]. Однако прямое применение таких мо-

делей не всегда достаточно: высокая семантическая близость ещё не означает правильную педагогическую оценку. Поэтому в данной работе сравниваются два варианта: прямое оценивание через близость эмбедингов и ансамблевое оценивание, где несколько моделей используются как признаки для регрессионной модели.

Материалы исследования

Экспериментальный набор был составлен для темы JavaScript. В него вошли 10 вопросов: от базовых понятий переменной, типов данных и функций до более сложных тем, таких как hoisting, строгий режим, IEEE 754, замыкания и различие между == и ===. На каждый вопрос было подготовлено по 50 реальных студенческих ответов, всего 500 наблюдений. Важно отметить, что ответы не являлись синтетически сгенерированными: они отражали

типичные формулировки, ошибки, неполные объяснения и разные уровни понимания материала, характерные для студентов при ответе в свободной форме. Каждый ответ сопоставлялся с эталонным ответом и имел экспертную оценку по шкале 0–4, где 0 соответствует неверному или фактически отсутствующему ответу, а 4 — полному и корректному раскрытию вопроса.

Набор получился достаточно удобным для первого эксперимента: число ответов одинаковое для каждого вопроса, поэтому отдельная тема не доминирует над другими. При этом распределение оценок не является полностью равномерным: больше всего ответов получили 3 и 4 балла, но в выборке также присутствуют нулевые, неполные и частично правильные ответы. Это важно, потому что модель должна различать не только явно неверные и явно правильные формулировки, но и промежуточные варианты.

Таблица 1. Основные характеристики экспериментального набора

Параметр	Значение
Предметная область	основы JavaScript
Количество вопросов	10
Количество ответов	500
Ответов на один вопрос	50
Шкала экспертной оценки	0–4 балла
Средняя длина ответа	75,7 символа
Медианная длина ответа	67 символов

Методика сравнения прямых и ансамблевых подходов

В прямом подходе эталонный ответ и ответ студента кодируются одной и той же языковой моделью. После этого между двумя векторами вычисляется косинусная близость, которая затем приводится к шкале 0–4. Такой подход прост, не требует дополнительного обучения на экспертных оценках и может быстро использоваться как базовая линия. Подобная логика сравнения эталонного и студенческого ответа через векторные представления и косинусное сходство применяется в работах по автоматизированному оцениванию коротких ответов [2, с. 282]. В исследовании прямое оценивание применялось к трем BERT-подобным моделям: DistilBERT, RoBERTa и RuBERT.

DistilBERT был выбран как компактный многоязычный вариант BERT-модели, ориентированный на более быстрый вывод. RoBERTa использовалась как сильная многоязычная модель для сопоставления текстов. RuBERT-tiny2 была включена как небольшая русскоязычная BERT-подобная модель, предназначенная в том числе для получения семантических векторных представлений текста на русском языке. Такой набор моделей позволяет сравнить многоязычные и русскоязычные представления, а также понять, насколько прямое сходство подходит для оценки ответов по программированию.

Ансамблирование в данной работе понимается как объединение результатов нескольких моделей для получения более устойчивой оценки. Были проверены два уровня ансамблей. Первый уровень — простые ансамбли: среднее значение трех оценок, медиана и взвешенное среднее. Среднее значение показывает общий результат трех моделей, медиана снижает влияние отдельной «ошибившейся» модели, а во взвешенном среднем больший вес получает модель, которая на обучающей части имеет меньшую ошибку. Второй уровень — стекинг: для каждого ответа формировался общий набор признаков из эмбедингов эталонного и студенческого ответов, полученных тремя BERT-подобными моделями, а затем по этим признакам обучалась отдельная регрессионная модель. В качестве моделей второго уровня использовались Ridge-регрессия, SVR и LightGBM. Таким образом, ансамбль в эксперименте — это не еще одна языковая модель, а способ обучить метамодель связывать семантические признаки с экспертной шкалой 0–4.

Ridge-регрессия использовалась как линейный вариант стекинга с регуляризацией, позволяющий проверить, достаточно ли простой линейной комбинации признаков. SVR применялась как нелинейная регрессионная модель. LightGBM рассматривался как вариант градиентного бустинга над деревьями решений: такие методы последовательно строят ансамбль слабых моделей, ис-

правляя ошибки предыдущих шагов и минимизируя итоговую ошибку [7, с. 1018]. В задачах автоматизированного оценивания также отмечается использование линейных, метрических и ансамблевых моделей, обучаемых на размеченных ответах и экспертных баллах [5, с. 21].

Метрики и схема эксперимента

Качество оценивания измерялось несколькими метриками, так как одна метрика не показывает всю картину. В исследованиях автоматической оценки ответов используются как метрики ошибки, так и метрики согласованности с экспертными баллами [1, с. 45; 5, с. 21–22]. В данной работе экспертная оценка i -го ответа обозначалась как y_i , предсказание модели — как \hat{y}_i , а количество ответов — как n . Pearson r показывает линейную связь между y_i и \hat{y}_i : чем выше значение, тем лучше модель воспроизводит сами численные оценки эксперта. Spearman ρ оценивает не точные значения, а порядок ответов, то есть способность модели ранжировать ответы от слабых к сильным. $MAE = (1/n)\sum|y_i - \hat{y}_i|$ показывает среднюю абсолютную ошибку в баллах и поэтому легко интерпретируется на шкале 0–4. $RMSE = \sqrt{(1/n)\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}$ сильнее штрафует крупные ошибки, что важно для выявления грубых промахов модели. R^2 показывает, какую долю вариации экспертных оценок объясняет модель. QWK (quadratic weighted kappa) отражает согласованность автоматической и экспертной оценки на порядковой шкале с учетом того, насколько сильно отличаются баллы. Accurasy ± 1 показывает долю ответов, где ошибка модели не превышает одного балла, поэтому эта метрика особенно понятна для практического применения в учебной системе.

Именно такой набор метрик был выбран потому, что задача оценки кратких ответов является смешанной: с одной стороны, модель должна предсказывать численный балл, с другой — сохранять правильный порядок ответов и не допускать грубых расхождений с преподавателем. Поэтому MAE и RMSE показывают величину ошибки, Pearson r и Spearman ρ — связь с экспертной оценкой и ранжирование, R^2 — объясняющую способность модели, QWK — согласованность по шкале баллов, а Accurasy ± 1 — практическую допустимость результата.

Для проверки устойчивости результатов были использованы три стратифицированных разбиения: 10 %, 20 % и 30 % тестовой выборки. Основным для интерпретации выбран вариант 30 %, так как в нем 150 ответов не участвовали в обучении и использовались только для проверки. Дополнительно для сложных ансамблей была проведена 5-кратная кросс-валидация. Перед обучением стекинг-моделей эмбединги стандартизировались, чтобы признаки разных моделей находились в сопоставимых масштабах.

Результаты эксперимента

На тестовой выборке 30 % лучший средний ранг показал ансамбль на основе LightGBM. Он занял первое место по метрикам R^2 , QWK, Accurasy ± 1 , MAE и RMSE, а по корреляционным метрикам уступил только ансамблю на основе SVR. Второе место по среднему рангу занял SVR-ансамбль. Среди одиночных моделей наилучший результат показала RuBERT-tiny2: она стала третьей по среднему рангу и заметно опередила прямые подходы на основе DistilBERT и RoBERTa. Это позволяет сделать вывод, что компактная русскоязычная модель лучше подходит для обработки коротких ответов на русском языке, однако наилучшее качество всё же достигается при использовании ансамблевого подхода с дополнительной калибровкой на экспертных оценках.

Для лучшего метода на тесте 30 % были получены следующие значения: MAE = 0,7412, Pearson r = 0,7332, Accurasy ± 1 = 0,70. Если учитывать шкалу 0–4, средняя абсолютная ошибка меньше одного балла является приемлемым результатом для первого варианта автоматического модуля, особенно если итоговая оценка не заменяет преподавателя полностью, а используется как предварительная рекомендация. Такой результат также показывает, что модель чаще ошибается в пределах соседней категории, а не делает грубые промахи.

Отдельно проверялась устойчивость сложных ансамблей. По MAE LightGBM и SVR оказались близкими: в 5-кратной кросс-валидации LightGBM получил MAE около 0,752, SVR — около 0,750. Однако на тестовой выборке 30 % LightGBM показал более высокий общий ранг, поэтому именно он был выбран как основной рабочий метод для дальнейшего внедрения в систему оценивания.

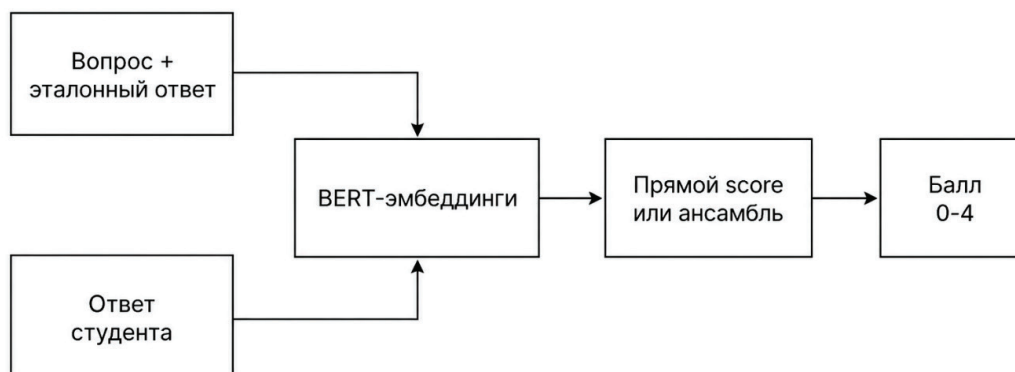


Рис. 1. Общая схема автоматической оценки ответа

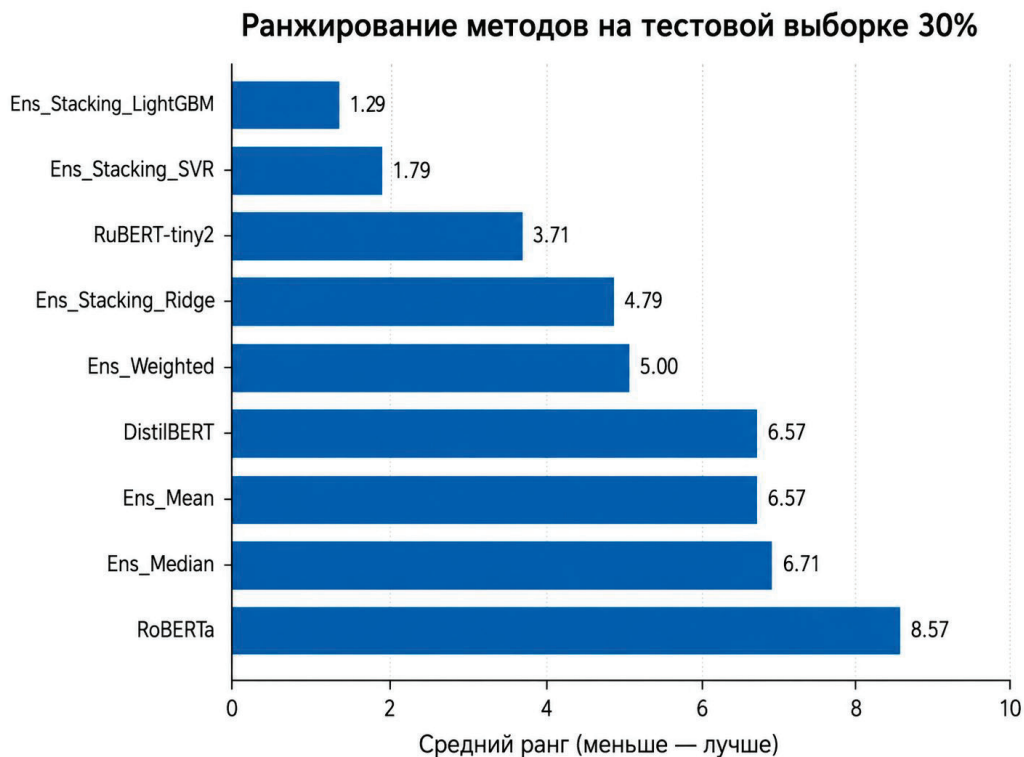


Рис. 2. Средний ранг методов на тестовой выборке 30 %

Таблица 2. Лучшие методы по результатам ранжирования на тестовой выборке 30 %

Место	Метод	Тип подхода	Средний ранг
1	Ens_Stacking_LightGBM	ансамбль, стекинг	1,29
2	Ens_Stacking_SVR	ансамбль, стекинг	1,79
3	RuBERT-tiny2	прямое оценивание	3,71
4	Ens_Stacking_Ridge	ансамбль, стекинг	4,79
5	Ens_Weighted	простой ансамбль	5,00

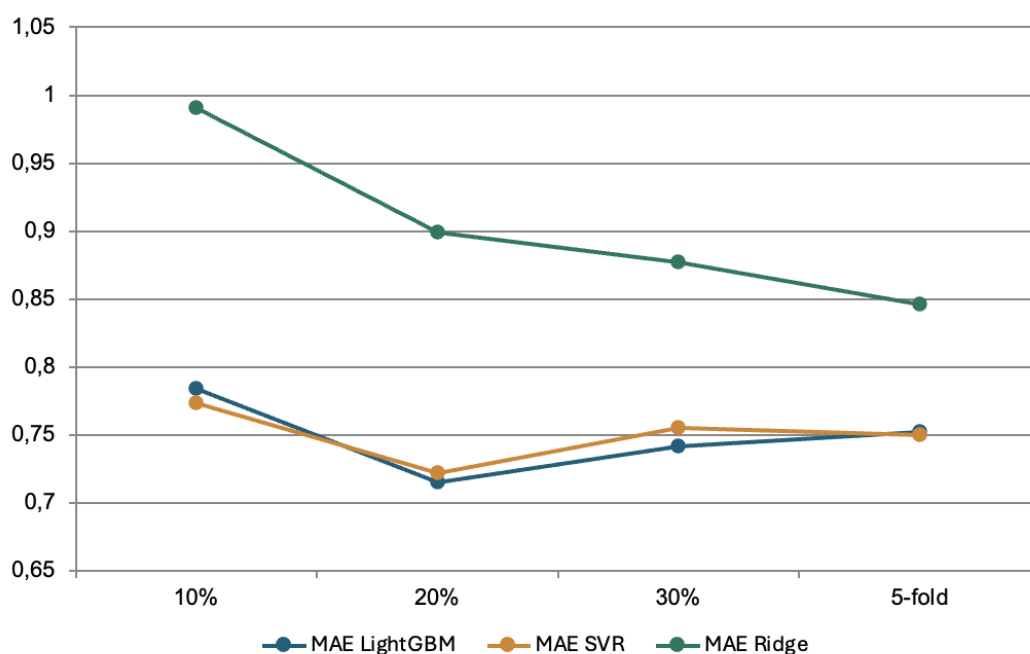


Рис. 3. Сравнение MAE сложных ансамблей на разных проверках

Обсуждение результатов

Полученные результаты можно объяснить особенностями самой задачи. Прямое сравнение эмбедингов хорошо улавливает общую смысловую близость, но хуже различает педагогически важные детали. Например, ответ «let и var нужны для объявления переменных» будет близок к эталону по общей теме, но может не раскрывать блочную и функциональную область видимости, повторное объявление и hoisting. Для человека это частичный ответ, а для модели семантической близости он может выглядеть почти правильным.

Ансамбль решает эту проблему за счет калибровки на экспертных оценках. Он не просто измеряет близость двух текстов, а учится сопоставлять признаки с реальной шкалой 0–4. Важным является и то, что разные BERT-модели дают немного разные представления: DistilBERT лучше работает как быстрый общий базовый ориентир, RoBERTa дает многоязычное контекстное представление, RuBERT-tiny2 лучше ориентирована на русскоязычные формулировки. LightGBM может использовать эти различия и находить нелинейные сочетания признаков, поэтому по совокупности метрик он оказался устойчивее прямых подходов.

При этом результаты нельзя считать окончательным решением всей задачи автоматической проверки. Набор данных ограничен десятью вопросами по JavaScript, а ответы имеют относительно небольшой объем. Кроме того, шкала 0–4 зависит от того, насколько последовательно эксперт выставляет промежуточные баллы. Поэтому практическая система должна сохранять преподавателя в контуре: автоматическая оценка может предлагать предварительный балл, а подтвержденная или исправленная преподавателем оценка должна возвращаться в базу как новый обучающий пример.

Еще одно ограничение связано с предметной природой программирования. В коротких ответах важны не только общие смыслы, но и конкретные критерии: упоминание

ключевого термина, правильное объяснение механизма, наличие примера, отсутствие фактической ошибки. Поэтому дальнейшее развитие подхода целесообразно связывать не только с увеличением обучающей выборки, но и с добавлением предметных признаков: выделением терминов JavaScript, проверкой обязательных смысловых компонентов и анализом типичных ошибок.

Заключение

В статье было проведено сравнение прямых и ансамблевых подходов к автоматической оценке кратких развернутых ответов по программированию. Эксперимент на 500 ответах по JavaScript показал, что прямое сравнение BERT-эмбедингов может использоваться как базовый метод и как источник признаков, но само по себе недостаточно надежно для выставления итогового балла. Лучшим одиночным вариантом стала RuBERT-tiny2, что логично для русскоязычных коротких ответов.

Наиболее качественный результат был получен при использовании ансамблевого подхода со стекингом. LightGBM-ансамбль на тестовой выборке 30 % показал $MAE = 0,7412$, $Pearson\ r = 0,7332$ и $Accuracy \pm 1 = 0,70$. Это подтверждает, что для практической системы проверки ответов целесообразно использовать не одну языковую модель напрямую, а ансамбль, обученный на экспертных оценках. Такой подход лучше соответствует реальной образовательной задаче, где важно не только найти похожий текст, но и поставить балл, близкий к преподавательскому.

Практическая значимость исследования заключается в том, что выбранный метод может быть использован как основа модуля автоматической проверки в системе тестирования студентов. При этом наиболее безопасный сценарий внедрения — не полная замена преподавателя, а предварительная автоматическая оценка с последующим подтверждением и накоплением новых размеченных примеров.

Литература:

1. Лагутина, Н. С. Обзор моделей автоматической оценки сходства ответа учащегося с эталонным ответом / Н. С. Лагутина, К. В. Лагутина. — Текст: непосредственный // Моделирование и анализ информационных систем. — 2025. — Т. 32, № 1. — С. 42–65.
2. Миннегалиева, Ч. Б. Автоматизированное оценивание коротких ответов обучающихся с использованием языковых моделей / Ч. Б. Миннегалиева, И. И. Кашапов, О. Д. Морозова. — Текст: непосредственный // Электронные библиотеки. — 2024. — Т. 27, № 3. — С. 278–293.
3. Кожевников, В. А. Система автоматической проверки ответов на открытые вопросы на русском языке / В. А. Кожевников, О. Ю. Сабинин. — Текст: непосредственный // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2018. — Т. 11, № 3. — С. 57–72.
4. Автоматизация проверки семантической составляющей текстовых ответов обучающихся в цифровой образовательной платформе / А. Г. Леонов, Н. С. Мартынов, К. А. Машенко [и др.]. — Текст: непосредственный // Программные продукты и системы. — 2024. — Т. 37, № 3. — С. 440–452.
5. Новые подходы к оцениванию: искусственный интеллект как драйвер изменений в образовании / Е. Ю. Карданова (науч. ред.), С. В. Тарасов, А. Е. Иванова, Э. М. Юсупова [и др.]. — Текст: непосредственный. — М.: НИУ ВШЭ, Институт образования, 2025. — 89 с. — (Современная аналитика образования; вып. № 5 (88)).

6. Олисеенко, В. Д. Эмбединги языковой модели RuBERT в задаче многоклассовой классификации постов пользователей в социальной сети / В. Д. Олисеенко, М. В. Абрамов. — Текст: непосредственный // XXV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям: сборник материалов. — СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. — С. 45–48.
7. Салахутдинова, К. И. Алгоритм градиентного бустинга деревьев решений в задаче идентификации программного обеспечения / К. И. Салахутдинова, И. С. Лебедев, И. Е. Кривцова. — Текст: непосредственный // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2018. — Т. 18, № 6. — С. 1016–1022.

БИОЛОГИЯ

Метаболическая роль лактатдегидрогеназы в развитии опухолей легких

Наипханова Шуанат Наипхановна, студент магистратуры

Научный руководитель: Джафарова Альбина Мехьядиновна, кандидат биологических наук, доцент
Дагестанский государственный университет (г. Махачкала)

В статье рассмотрены современные представления о роли лактатдегидрогеназы в энергетическом метаболизме опухолевых клеток легкого. Проанализированы механизмы метаболической перестройки клеток при канцерогенезе, особенности эффекта Варбурга и значение лактатдегидрогеназы в процессах опухолевого роста. Показано, что изменение активности фермента тесно связано с пролиферацией опухолевых клеток, развитием гипоксии и формированием агрессивного фенотипа новообразований. Обоснована возможность использования лактатдегидрогеназы в качестве диагностического и прогностического биомаркера при онкологических заболеваниях легких.

Ключевые слова: лактатдегидрогеназа, рак легких, опухолевый метаболизм, эффект Варбурга, гликолиз, онкология, биомаркеры, канцерогенез.

Lactate dehydrogenase as a marker of tumor metabolism in lung cancer

Naipkhanova Shuanat Naipkhanovna, master's student

Scientific advisor: Dzhaifarova Albina Mekhyadinovna, candidate of biological sciences, associate professor
Dagestan State University (Makhachkala)

The article discusses modern concepts of the role of lactate dehydrogenase in the energy metabolism of lung tumor cells. The mechanisms of metabolic reprogramming during carcinogenesis, the features of the Warburg effect and the significance of lactate dehydrogenase in tumor growth are analyzed. It is shown that changes in enzyme activity are closely associated with tumor cell proliferation, hypoxia development and formation of an aggressive tumor phenotype. The possibility of using lactate dehydrogenase as a diagnostic and prognostic biomarker in lung cancer is substantiated.

Keywords: lactate dehydrogenase, lung cancer, tumor metabolism, Warburg effect, glycolysis, oncology, biomarkers, carcinogenesis.

Рак легкого остается одной из ведущих причин смертности среди онкологических заболеваний во всем мире. Несмотря на значительные достижения в области диагностики и лечения, показатели выживаемости пациентов остаются относительно низкими, что обуславливает необходимость поиска новых молекулярных маркеров опухолевого роста и прогрессирования заболевания. Одним из перспективных направлений современной онкологии является изучение особенностей энергетического обмена опухолевых клеток.

В отличие от нормальных клеток, клетки злокачественных новообразований характеризуются выраженной перестройкой метаболических процессов. Основой такой перестройки является так называемый эффект Варбурга, впервые описанный немецким биохимиком Отто Варбургом [3]. Согласно данной концепции опухолевые клетки даже при наличии достаточного коли-

чества кислорода преимущественно используют гликолиз для получения энергии. Подобный тип энергетического обмена обеспечивает быстро делящиеся клетки не только энергией, но и промежуточными продуктами, необходимыми для синтеза нуклеиновых кислот, белков и липидов.

Важнейшим ферментом, обеспечивающим функционирование гликолиза в условиях повышенной метаболической активности, является лактатдегидрогеназа (ЛДГ). Данный фермент катализирует обратимую реакцию превращения пирувата в лактат с участием коферментов НАД⁺/НАДН. В условиях гипоксии и высокой скорости гликолиза активность ЛДГ возрастает, что позволяет поддерживать непрерывное образование аденозинтрифосфата и регенерацию НАД⁺, необходимого для дальнейшего протекания гликолитических реакций [8].

Повышенная экспрессия ЛДГ рассматривается как один из характерных признаков опухолевого метабо-

лизма. Исследования последних лет показывают, что увеличение активности фермента наблюдается при многих злокачественных новообразованиях, включая рак легкого, молочной железы, яичников и колоректальный рак. Особенно важное значение имеет изоформа ЛДГ-А, обеспечивающая интенсивное образование лактата в опухолевых клетках. Накопление лактата способствует закислению микроокружения опухоли, что создает благоприятные условия для инвазии, метастазирования и подавления противоопухолевого иммунного ответа [8].

В настоящее время установлено, что метаболическая перестройка опухолевых клеток не ограничивается исключительно усилением гликолиза. Многие опухоли способны сочетать процессы аэробного гликолиза и окислительного фосфорилирования, изменяя соотношение между ними в зависимости от условий микроокружения [4]. Такая метаболическая пластичность обеспечивает высокую адаптационную способность опухолевых клеток и способствует их выживанию при недостатке питательных веществ и кислорода [2].

Особое значение в развитии опухолевого процесса имеет гипоксия. Быстрое деление клеток приводит к тому, что сосудистая сеть не успевает обеспечивать новообразование необходимым количеством кислорода. В результате активируются гипоксия-индуцируемые факторы, которые стимулируют экспрессию генов гликолитических ферментов, включая ЛДГ. Усиление активности ЛДГ способствует поддержанию жизнеспособности опухолевых клеток даже в условиях выраженного кислородного дефицита.

Большой интерес представляет диагностическая и прогностическая значимость лактатдегидрогеназы. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что повышение уровня ЛДГ в сыворотке крови коррелирует с неблагоприятным течением заболевания, высокой ве-

роятностью метастазирования и снижением общей выживаемости пациентов. Для больных раком легкого увеличение активности ЛДГ рассматривается как показатель высокой метаболической активности опухоли и ее агрессивности [5].

В клинической практике определение уровня ЛДГ используется как дополнительный инструмент мониторинга эффективности противоопухолевой терапии [1]. Снижение активности фермента может свидетельствовать о положительном ответе на лечение, тогда как его увеличение нередко связано с прогрессированием заболевания. Кроме того, ряд исследователей рассматривает ЛДГ как потенциальную терапевтическую мишень. Ингибирование данного фермента способно нарушать энергетический обмен опухолевых клеток и снижать их пролиферативную активность [6].

Особое внимание в современной литературе уделяется взаимосвязи между активностью ЛДГ и степенью злокачественности новообразований. Установлено, что наиболее агрессивные формы рака характеризуются наиболее выраженными нарушениями энергетического обмена и высоким уровнем экспрессии фермента. Это позволяет рассматривать ЛДГ не только как показатель метаболического статуса опухоли, но и как перспективный маркер ее биологического поведения [7].

Таким образом, лактатдегидрогеназа играет ключевую роль в обеспечении энергетических потребностей опухолевых клеток. Изменение активности фермента является важным звеном метаболической адаптации новообразований к условиям гипоксии и интенсивного роста. Накопленные научные данные свидетельствуют о высокой диагностической и прогностической значимости ЛДГ при раке легких, что делает данный фермент перспективным объектом дальнейших фундаментальных и клинических исследований.

Литература:

1. Лукина М. М., Ширманова М. В., Сергеева Т. Ф. Метаболический имиджинг в исследовании онкологических процессов // *Современные технологии в медицине*. 2022. С. 48–51.
2. Cairns R. A., Harris I. S., Mak T. W. Regulation of cancer cell metabolism // *Nat Rev Cancer*. 2011. Vol. 11. P. 85–95.
3. Diaz-Ruiz R., Rigoulet M., Devin A. The Warburg and Crabtree effects: on the origin of cancer cell energy metabolism // *Biochimica et Biophysica Acta*. 2011. Vol. 1807. P. 568–576.
4. Vander Heiden M. G., Lunt S. Y. Aerobic glycolysis and tumor growth // *Annual Review of Cell and Developmental Biology*. 2011. Vol. 27. P. 441–464.
5. Zheng J. Energy metabolism of cancer: glycolysis versus oxidative phosphorylation // *Oncology Letters*. 2012. Vol. 4. P. 1151–1157.
6. Forkasiewicz A., Dorociak A., Stach K. Lactate dehydrogenase and its role in cancer metabolism // *Cancers*. 2022. Vol. 14. P. 1–35.
7. Hanahan D., Weinberg R. A. Hallmarks of cancer: the next generation // *Cell*. 2011. Vol. 144. P. 646–674.
8. Valvona C. J., Fillmore H. L., Nunn P. B. The regulation and function of lactate dehydrogenase A // *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2016. Vol. 73. P. 1–15.

МЕДИЦИНА

Фантомно-болевого синдром: распространенность, патогенез и терапевтические подходы

Барбашёва Алина Александровна, студент

Научный руководитель: Ткаченко Павел Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой
Курский государственный медицинский университет

В статье рассмотрены нейрофизиологические механизмы фантомно-болевого синдрома (ФБС) как следствия нарушения обратной афферентации и корковой реорганизации. Приведены результаты опроса 121 респондента: 54,5 % правильно указали высокую частоту ФБС (до 80 % и выше), 71,1 % осведомлены о многолетнем сохранении боли, 42,1 % связывают источник боли с головным мозгом. Показано, что большинство опрошенных понимают нейрофизиологическую основу ФБС, однако осведомлённость о зеркальной терапии недостаточна (42,1 % слышат о ней впервые) [2]. Сделан вывод, что углубление знаний о немедикаментозных методах коррекции (зеркальная терапия, нейропротезирование) необходимо для повышения качества реабилитации пациентов.

Ключевые слова: фантомно-болевого синдром, фантомная боль, ампутация, корковая реорганизация, зеркальная терапия

Цель исследования — изучение представления респондентов о нейрофизиологических механизмах, участвующих в формировании фантомной боли, факторах, влияющих на ее длительность и интенсивность, а также о возможностях терапевтической коррекции (включая зеркальную терапию и нейропротезирование).

Актуальность. Фантомно-болевого синдром (ФБС) — одно из самых сложных для лечения последствий ампутации. Формирование фантомной боли является следствием нарушения принципа «обратной афферентации», так как мозг не получает сигналов от ампутированной конечности, формирует патологическую доминанту, субъективно воспринимаемую как боль [3].

В обществе и даже среди начинающих врачей сохраняются упрощенные взгляды на фантомно-болевого синдром. Многие считают его либо проблемой самой культы, либо чисто психологическим феноменом [1]. При этом число травматических ампутаций у лиц молодого возраста растет вследствие дорожно-транспортных происшествий, техногенных катастроф, вооруженных конфликтов. Значит будущие врачи должны четко понимать нейрофизиологические причины возникновения фантомных болей: от этого будет зависеть своевременность диагностики, а также выбор стратегии реабилитации пациентов [3].

Материалы и методы исследования. Теоретической основой работы послужил анализ научных публикаций, посвященных нейрофизиологии фантомно-болевого

синдрома, механизмам нейропластичности и корковой реорганизации после ампутации. Поиск литературы осуществлялся в электронной научной библиотеке eLIBRARY.RU.

Эмпирическая часть исследования заключалась в проведении социологического опроса с использованием онлайн-анкетирования. Опрос проводился в период с 07.04.2026 по 17.04.2026. В нем принял участие 121 респондент, из них 53 мужчины и 68 женщин. Возраст участников варьировал от 16 до 25 лет и старше. Структура выборки была следующей: студенты, не совмещающие учёбу с работой (43,0 %), работающие параллельно с учёбой (33,9 %), только работающие (14,9 %), не учащиеся и не работающие (8,3 %).

Анкета включала вопросы о распространённости фантомно-болевого синдрома, длительности и интенсивности болевых ощущений, их качественных особенностях, а также об осведомлённости респондентов о современных методах терапии (зеркальная терапия, нейропротезирование). Также респондентов спрашивали о возможной связи прикосновений к лицу с ощущениями в отсутствующей конечности и о возможности возникновения фантомных болей при врождённом отсутствии конечности. Статистическая обработка полученных данных проводилась методами описательной статистики.

Нейрофизиологические механизмы фантомных болей. Фантомно-болевого синдром формируется вследствие нарушения принципа «обратной афферентации». После ам-

путации конечности мозг перестаёт получать от неё сигналы, что приводит к возникновению патологической доминанты, субъективно воспринимаемой как боль. Источник фантомной боли находится не в культе, а в головном мозге [3]. Из-за перераспределения корковых представительств после ампутации прикосновение к лицу может вызывать ощущение в отсутствующей кисти. Фантомные боли способны сохраняться годами и даже десятилетиями благодаря устойчивости сформировавшейся патологической нейронной сети.

По качественным характеристикам фантомная боль чаще всего описывается как острая «дергающая», похожая на удар током, что связано с патологической активностью таламуса и коры. Также характерно ощущение неестественного положения отсутствующей конечности (например, сильно сжатого кулака), которое отражает

нарушение «схемы тела». Современные методы терапии включают зеркальную терапию, использующую зрительную обратную связь для коррекции рассогласования между моторной командой и сенсорным ответом, а также нейропротезирование с обратной связью, восстанавливающее афферентный поток [2].

Результаты социологического опроса. Проведенное анкетирование позволило получить следующие данные. Из 121 опрошенного большинство респондентов правильно указали, что фантомно-болевым синдромом встречается очень часто — до 80 % и выше. Треть опрошенных считают, что ФБС встречается примерно в половине случаев, и лишь незначительная часть относят его к редким явлениям.

Распределение респондентов по представлениям о длительности фантомных болей представлено в таблице 1.

Таблица 1. Представления респондентов о длительности фантомно-болевого синдрома

Длительность	Количество респондентов	Процент от общего числа
Сохраняются годами и десятилетиями	86	71,1 %
Проходят в течение первого года	27	22,3 %
Ограничиваются периодом заживления раны	8	6,6 %

Анализ представлений об источнике боли показал, что наиболее часто респонденты указывают на головной мозг (42,1 %). Треть опрошенных (33,1 %) связывают боль с патологией нервных окончаний в культе, меньшая часть (15,7 %) — со спинным мозгом, и лишь незначительный процент (9,1 %) считают феномен чисто психологическим.

При анализе знания о корковой реорганизации было установлено, что большинство респондентов (71,1 %) верно указали на возможность того, что прикосновение к лицу может вызывать ощущение в отсутствующей кисти. Остальные (24,8 %) либо отрицают наличие такой связи, либо (4,1 %) полагают, что боль при этом исчезнет.

Что касается качественных особенностей болевых ощущений, респонденты наиболее часто отмечали острую «дергающую» боль, похожую на удар током (76,0 %), а также ощущение неестественного положения конечности (65,3 %). Дополнительно указывались ноющий характер боли (56,2 %) и жжение (39,7 %).

При анализе осведомлённости о современных методах терапии выяснилось, что значительная часть респондентов (42,1 %) слышат о зеркальной терапии впервые, многие (36,4 %) имеют общее представление, но не знают деталей, и лишь каждый пятый (21,5 %) знаком с ней как с известным способом лечения.

Таким образом, полученные данные подтверждают, что базовые знания о механизмах фантомной боли у респондентов сформированы достаточно хорошо. Однако важно помнить, что треть опрошенных (33,1 %) по-прежнему связывают фантомную боль преимущественно с патологией культы, а не с центральными механизмами,

а осведомлённость о зеркальной терапии остаётся недостаточной (42,1 % слышат о ней впервые).

Выводы:

1. Фантомно-болевым синдром представляет собой нейрофизиологический феномен, в основе которого лежит нарушение обратной афферентации и последующая мальадаптивная реорганизация сенсомоторной коры. Ключевую роль в формировании стойкой патологической доминанты играет перераспределение корковых представительств, что объясняет такие феномены, как сенсорные взаимодействия между лицом и отсутствующей конечностью.

2. Результаты проведённого опроса (n = 121) показали, что большинство респондентов правильно оценивают распространённость ФБС (до 80 % и выше), его многолетнюю длительность и связь с процессами в головном мозге. Наиболее полно опрошенные осведомлены о качественных характеристиках боли (дергающий характер, ощущение неестественной позы конечности), что свидетельствует о сформированности базовых нейрофизиологических представлений.

3. Вместе с тем выявлены существенные пробелы в знаниях: треть опрошенных по-прежнему связывают фантомную боль преимущественно с патологией культы, а не с центральными механизмами. Особую тревогу вызывает низкая осведомлённость о зеркальной терапии (42,1 % слышат о ней впервые), что указывает на необходимость более широкого внедрения этих сведений в образовательные программы.

4. Повышение информированности будущих врачей о нейрофизиологических механизмах ФБС и современных немедикаментозных методах лечения (зеркальная те-

рапия, нейропротезирование с обратной связью) является перспективным направлением, способным напрямую по-

влиять на качество медицинской помощи и реабилитации пациентов с фантомно-болевым синдромом.

Литература:

1. Васильченко, Т. С. Фантомные боли как актуальная проблема медицины / Т. С. Васильченко, А. А. Габдракипова // Синергия Наук. — 2019. — № 31. — С. 1352–1355/
2. Доценко, А. К. Зеркалотерапия как метод лечения фантомных болей / А. К. Доценко, К. Д. Храповицкий, И. С. Мозговой // Университетская клиника. — 2017. — № 4–1(25). — С. 55–57/
3. Иванов, А. С. Патогенез фантомной боли — первый шаг к пониманию проблемы / А. С. Иванов, С. А. Шалимов, Д. В. Прихода [и др.] // Загальна патологія та патологічна фізіологія. — 2011. — Т. 6, № 4. — С. 18–23/
4. Кондратьев, И. А. Современные представления о фантомной боли и методах её лечения / И. А. Кондратьев, А. В. Джоджуа, А. А. Ананкин [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова. — 2025. — Т. 20, № 3. — С. 147–151/

Клинические проявления в полости рта при хронической сердечной недостаточности

Сухина Анастасия Андреевна, студент

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

В статье проведен ретроспективный анализ литературы, посвященной клиническим проявлениям хронической сердечной недостаточности (ХСН) в полости рта. В статье описываются результаты исследований, изучавших изменения слизистой полости рта у пациентов с ХСН и взаимосвязь этих изменений с данной патологией. Рассмотрены клинические проявления в полости рта при патологии сердечно-сосудистой системы на визуальном уровне (цианоз, язвенно-некротические поражения, ксеростомия) и биохимическом (снижение pH слюны, повышение малонового альдегида, воспалительных медиаторов). Особое внимание уделяется гипосаливации и дисфункции слюнных желез пациентов с ХСН. Сделаны выводы о коморбидности заболеваний ротовой полости и сердечно-сосудистой системы, а также о важности взаимодействия врачей стоматологов и кардиологов.

Ключевые слова: хроническая сердечная недостаточность, ротовая полость, дисфункция слюнных желез, стоматологический статус.

Введение

Период XX века характеризовался распространённостью заболеваний, приводящих к развитию хронической сердечной недостаточности (ХСН) в человеческой популяции. Разработки и исследования последующих десятилетий привели к увеличению продолжительности жизни у пациентов, что является причиной увеличения распространённости данного заболевания в РФ. То же касается и терапии ишемической болезни сердца (ИБС), исход которой способствует развитию ХСН. Высокая эффективность лечения и профилактики ИБС в РФ является причиной снижения смертности от ХСН [6]. По данным популяционного исследования ЭПОХА-ХСН встречаемость ХСН в 2002 г. составила 6,7 %, а к 2017 г. возросла до 8,2 % [1,2,6]. Однако изменения организма при ХСН отражаются на ротовой полости, что увеличивает количество пациентов с ХСН в стоматологической практике. В настоящее время доказана коморбид-

ность патологии полости рта и сердечно-сосудистой системы [5].

Материалы и методы. Был проведен ретроспективный анализ современных научных данных, включающих нозологию, патогенез ХСН, ее распространённость в РФ и основные изменения в организме при этой патологии опубликованных за последние шесть лет 2021–2026 гг. в базах «eLibrary», «CyberLeninka» и «PubMed». Поиск производился по ключевым словам: «хроническая сердечная недостаточность», «полость рта», «стоматологический статус», «дисфункция слюнных желез».

По определению Всемирной организации здравоохранения (1995 г.), сердечная недостаточность с патофизиологической точки зрения — это неспособность сердца обеспечивать питательными веществами ткани организма в соответствии с их метаболическими потребностями в состоянии покоя и/или при умеренных физических нагрузках [7]. Одним из основных проявлений ХСН является венозный застой крови. Это может специфически

проявляться в полости рта: наблюдается цианоз слизистых оболочек, языка, тканей пародонта и губ, при компенсированной форме может наблюдаться только бледность слизистой, с легким цианотичным оттенком десен [4,5]. ХСН сопровождается окислительным стрессом [3,8] и гипосаливацией [8,9].

Болтаева Мафтуна Муминовна и Каюмов Холмурод Наимович (2025 г.) провели исследование по биохимической оценке состава несмешанной слюны у больных с ХСН. В результате было выявлено, что у пациентов с данной патологией сердечно-сосудистой системы, по сравнению со здоровыми лицами pH слюны снижен (6,0), что является причиной потери реминерализующих свойств слюны и способствует возникновению очагов деминерализации эмали. Содержание лизоцима в слюне оказалось в два раза ниже референсного значения, при этом были повышены содержание щелочной фосфатазы и сиаловых кислот, отражающие ферментативный компонент воспаления слизистой оболочки полости рта. Малоновый диальдегид (МДА) рассматривался, как маркер тканевого стресса, у пациентов с ХСН содержание в смешанной слюне МДА было значительно повышено (в 4 раза) [4].

В 2026 г. представлены результаты исследования состояния слизистой полости рта у больных с подтвержденным диагнозом ХСН, проведенного Хабибовой Н. Н. и Болтаевой М. М.. Исследование проводилось в качестве обоснования взаимосвязи ХСН и патологий слизистой оболочки рта. В результате язвенно-некротические изменения встречались чаще у пациентов с ХСН. Изменения ротовой полости фиксировались в участках с повышенной венозной нагрузкой: на внутренней поверхности нижней губы, дорсальная и латеральная поверхности

языка. В то время как у пациентов без сердечно-сосудистой патологии повреждения чаще фиксировались в областях наибольшей механической травматизации: щечная слизистая, слизистая твердого неба [5].

У пациентов с ХСН наблюдается гипосаливация и ксеростомия, о нарушении секреторной функции слюнных желез так же свидетельствовали пониженные содержание белка и активность α -амилазы [8]. В нестимулированной слюне таких пациентов были обнаружены повышенные концентрации воспалительных медиаторов, которые могут быть причиной инициации и усугубления течения сердечной недостаточности (СН). Слюна в покое вырабатывается поднижнечелюстными железами, следовательно основные изменения происходят в паренхиме преимущественно этих слюнных желез. На данный момент причины гипофункции желез у лиц с СН плохо изучены [9].

Подводя итог, можно утверждать о достоверности взаимосвязи сердечно-сосудистой патологии и заболеваний полости рта. Вышеприведенные результаты исследований подтверждают наличие изменений в полости рта и доказывают, что изменения в полости рта могут являться клиническим проявлением патологии сердечно-сосудистой системы. Они могут быть заметны при стоматологическом осмотре (язвенно-некротические изменения, цианоз слизистых оболочек, гипосаливация) и при биохимическом исследовании ротовых жидкостей. Подтверждена двусторонняя связь рассматриваемых патологических процессов, что обосновывает целесообразность совместного ведения пациента стоматологом и кардиологом. Таким образом, стоматолог как врач должен иметь полное представление о соматическом состоянии пациента и достоверно убедиться в этиологии изменений в полости рта.

Литература:

1. Г. А. Кесаева, А. А. Ремизова, О. Т. Коцоева. Особенности микроциркуляции тканей пародонта у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (обзор литературы) // ВНМТ. 2025. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-mikrotsirkulyatsii-tkaney-parodonta-u-patsientov-s-hronicheskoy-serdechnoy-nedostatochnostyu-obzor-literatury> (дата обращения: 08.04.2026).
2. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что изменилось за 20 лет наблюдения? Результаты исследования ЭПОХА -ХСН / Д. С. Поляков, И. В. Фомин, Ю. Н. Беленков [и др.] // Кардиология. — 2021. — Т. 61, № 4. — С. 4–14. — DOI 10.18087/cardio.2021.4.n1628. — EDN WSNFS.
3. Взаимосвязь этиопатогенеза заболеваний сердечно-сосудистой системы и ротовой полости / А. Ю. Беспалова, И. И. Утробина, Е. Н. Мокашева, Е. Н. Мокашева // European Journal of Natural History. — 2022. — № 2. — С. 44–49. — EDN MMRATQ.
4. Болтаева, М. Биохимические показатели ротовой жидкости при хронической сердечной недостаточности и их влияние на стоматологический статус / М. Болтаева, Х. Каюмов // MedicineProblems.uz-Topical Issues of Medical Sciences. — 2025. — Vol. 3, No. 5. — P. 25–30. — DOI 10.47390/med-pro/v3i5y2025/n04. — EDN MSSXAM.
5. Хабибова Н. Н., Болтаева М. М. Клинико-лабораторная оценка слизистой оболочки полости рта при хронической сердечной недостаточности // Экономика и социум. 2026. № 2–1 (141). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kliniko-laboratornaya-otsenka-slizistoy-obolochki-polosti-rta-pri-hronicheskoy-serdechnoy-nedostatochnosti> (дата обращения: 09.04.2026).
6. Бойцов С. А. Хроническая сердечная недостаточность: эволюция этиологии, распространенности и смертности за последние 20 лет // Терапевтический архив. 2022. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/hronicheskaya-serdechnaya-nedostatochnost-evolyutsiya-etilogii-rasprostranennosti-i-smertnosti-za-poslednie-20-let> (дата обращения: 09.04.2026).

7. Фролова Э. Б., Яушев М. Ф. Современное представление о хронической сердечной недостаточности // Вестник современной клинической медицины. 2013. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-predstavlenie-o-hronicheskoy-serdechnoy-nedostatochnosti> (дата обращения: 24.04.2026).
8. Diep M.T., Jensen J.L., Skudutyte-Rysstad R., Young A., Sødal A.T.T., Petrovski B.E., et al. Xerostomia and hyposalivation among a 65-yr-old population living in Oslo, Norway. *Eur J Oral Sci* (2021) 129(1):e12757. doi: 10.1111/eos.12757
9. Klimiuk A., Zalewska A., Knapp M., Skutnik-Radziszewska A. and Maciejczyk M. (2022). Could inflammation contribute to salivary gland dysfunction in patients with chronic heart failure? *Front. Immunol.* 13:1005981. doi:10.3389/fimmu.2022.1005981

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Инструменты цифрового земледелия и практика их применения в России

Сиренко Андрей Григорьевич, студент магистратуры
Дальневосточный государственный аграрный университет (г. Благовещенск)

В статье рассматриваются ключевые компоненты интеллектуального сельского хозяйства (AgriTech 4.0) — интернет вещей (IoT), искусственный интеллект, роботизированные системы и технологии дистанционного зондирования земли. Анализируется их внедрение в агропромышленном комплексе Российской Федерации в 2023–2025 гг. Приводятся данные о масштабах цифровизации, экономической эффективности использования «умных» решений и существующих барьерах. Также внимание уделяется перспективам развития точного земледелия и роботизации в отечественном АПК.

Ключевые слова: умное сельское хозяйство, точное земледелие, искусственный интеллект, интернет вещей, роботизация АПК, цифровая трансформация.

Digital farming tools and their application in Russia

The article examines the key components of smart agriculture (AgriTech 4.0) — the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, robotic systems and remote sensing technologies. Their implementation in the agro-industrial complex of the Russian Federation in 2023–2025 is analysed. Data on the scale of digitalisation, economic efficiency of using «smart» solutions and existing barriers are presented. Special attention is paid to the prospects for the development of precision farming and robotisation in the domestic agricultural sector.

Keywords: smart agriculture, precision farming, artificial intelligence, Internet of Things, robotisation of agro-industrial complex, digital transformation.

Введение

Сельское хозяйство России в последние годы переживает технологическую трансформацию. Рост населения планеты, изменение климата, истощение плодородных слоёв почвы и дефицит рабочей силы вынуждают аграриев искать новые подходы. Отечественный АПК постепенно переходит от традиционных методов к концепции «умного земледелия» (AgriTech 4.0), основанной на интеграции цифровых технологий в производственные циклы [1].

По данным профильного аналитического агентства Strategy Partners и мониторинга TAdviser, на сегодняшний день процессы цифровизации охватывают порядка 30 % предприятий отечественного АПК. При этом эксперты прогнозируют, что при сохранении мер государственной поддержки и масштабировании российских ИТ-решений, общий уровень проникновения цифровых технологий в отрасли к 2030 году может достигнуть 70–80 % [2, 3].

Цель данной работы — проанализировать ключевые компоненты интеллектуального сельского хозяйства, применяемые в России, оценить эффективность их внедрения

и выявить основные проблемы, сдерживающие цифровизацию отечественного АПК.

Компоненты умного сельского хозяйства и российский опыт их применения

Интернет вещей (IoT) и системы сбора данных

Базовым элементом любого «умного» хозяйства являются сети датчиков. В России активно используются почвенные сенсоры, метеостанции и датчики влажности. Например, компания «ДиСи Систек» (торговая марка «Анемон») разработала и внедрила в ряде регионов систему автоматизированного мониторинга микроклимата в теплицах и зернохранилищах. Аналогичные решения применяют агрохолдинги «Степь» и «Русагро» [4].

Однако масштабирование IoT в российской глубинке сталкивается с проблемами: недостаточное покрытие сетевой связью (особенно в Сибири и на Дальнем Востоке) и высокая стоимость оборудования для небольших фермерских хозяйств [5].

Искусственный интеллект и машинное обучение

Наибольший прогресс в России достигнут в области ИИ-решений для растениеводства. Алгоритмы машинного обучения используются для прогнозирования урожайности, выявления болезней растений по спутниковым снимкам и оптимизации графиков полива. Разработки в этой сфере ведут «Cognitive Pilot», «Дата-центр Автоматики» и Сколковский институт науки и технологий.

Система «Cognitive Agro Pilot» с элементами ИИ уже установлена на нескольких тысячах тракторов и комбайнов по всей стране. Она снижает перерасход топлива на 5–10 % и уменьшает непроизводительные проходы техники [6].

Беспилотные летательные аппараты и спутниковый мониторинг

Дроны в российском сельском хозяйстве применяются для облёта полей, создания ортофотопланов и точечного внесения удобрений. Крупные операторы, такие как «АгроДронГрупп», обслуживают посевы в Краснодарском крае, Ростовской области и Ставрополье. К 2025 году парк сельскохозяйственных БПЛА в стране превысил 3000 единиц [4].

Спутниковая аналитика (сервисы «Совзонд», «TerraTech») позволяет отслеживать состояние вегетации по индексу NDVI. Однако высокая стоимость детальных снимков и необходимость привлечения экспертов для интерпретации данных пока ограничивают применение этих технологий.

Роботизированная техника

Наиболее динамично развивающееся направление — автономные тракторы. Российские компании «Avrora Robotics» и «Cognitive Pilot» разработали системы автопилотирования для серийных тракторов. Готовые роботизированные тракторы (например, «АгроБот» на базе «Беларус») появились в хозяйствах Воронежской и Белгородской областей. Срок окупаемости такой техники составляет 3–4 года, но дефицит квалифицированных кадров и высокие первоначальные вложения тормозят массовое внедрение [6].

Для животноводства выпускаются роботизированные доильные системы (Lely, «Агро-МД»). Роботы-подравнители кормов («Колизей») внедрены в ряде комплексов Ленинградской и Московской областей. Экономический эффект от одного робота может достигать 1,6 млн рублей в год [4].

Экономическая эффективность

ФГБНУ «Росинформагротех» в 2025 году провело исследование. Внедрение «умных» технологий в растениеводстве позволяет:

- 1) повысить урожайность на 15 %;
- 2) сократить расход удобрений на 25–28 %;
- 3) снизить затраты на ГСМ на 5–10 %;
- 4) уменьшить потери продукции при хранении на 30 %.

В животноводстве цифровизация даёт прирост продуктивности на 3–5 %. Внедрение систем мониторинга здоровья животных снижает падёж на 1,5–2 %. Окупаемость проектов варьируется от 2 до 5 лет в зависимости от масштаба хозяйства [7].

Проблемы и барьеры.

Несмотря на позитивную динамику, существуют серьёзные препятствия:

1. Кадровый дефицит. Аграрные вузы не успевают готовить специалистов, способных работать с «умной» техникой. На селе катастрофически не хватает агрономов-аналитиков и инженеров-робототехников.
2. Высокая стоимость. Для малых хозяйств приобретение дрона или системы точного земледелия экономически нецелесообразно.
3. Цифровое неравенство. Во многих регионах отсутствует качественный мобильный интернет, что делает невозможным передачу данных в реальном времени.
4. Проблемы совместимости. Техника разных производителей часто использует несовместимые протоколы обмена данными [8].

Эти проблемы требуют системного подхода и активного участия государства.

Государственная политика и перспективы

В России реализуется Стратегическое направление цифровой трансформации АПК (до 2030 года). Субсидии покрывают до 50 % затрат на приобретение систем точного земледелия. Запущены пилотные проекты по созданию «умных» ферм в Татарстане, Белгородской и Ленинградской областях.

Перспективы развития умного сельского хозяйства в России связаны с созданием отраслевых платформ на базе ИИ, ростом парка беспилотных летательных аппаратов и внедрением технологии блокчейн для отслеживания продовольственных цепочек. Однако в связи с преодолением кадрового дефицита и технологических препятствий, полная цифровая трансформация отрасли займёт не менее 10–15 лет [2].

Заключение

Умное сельское хозяйство в России переходит из разряда экспериментальных разработок в практическую плоскость, опираясь на Стратегическое направление цифровой трансформации АПК до 2030 года, где основными компонентами AgriTech 4.0 являются IoT-датчики, ИИ-алгоритмы, беспилотные летательные аппараты и роботизированная техника. Наибольшую эффективность «умные» технологии демонстрируют в крупных интегрированных

структурах, агрохолдингах, имеющих доступ к инвестициям и квалифицированным кадрам.

Главными вызовами остаются кадровый дефицит, высокая стоимость решений, отсутствие единых стандартов и цифровое неравенство регионов. Их решение лежит в плоскости государственного и частного партнёрства

и совершенствования аграрного образования. Полномасштабный переход к цифровому сельскому хозяйству в России потребует ещё как минимум 10–15 лет, но уже сегодня первые «умные» поля и роботизированные фермы доказывают жизнеспособность и экономическую целесообразность этого направления.

Литература:

1. Цифровая трансформация сельского хозяйства: от глобального до регионального уровня / А. С. Щербакова, В. А. Иванов, И. С. Мальцева, А. В. Озаровская. — Текст: непосредственный // Journal of Agriculture and Environment. — 2024. — № 11(51).
2. Цифровизация в агропромышленном комплексе России. — Текст: электронный // tadviser.ru: [сайт]. — URL: <https://www.tadviser.ru/a/355086> (дата обращения: 04.06.2026).
3. АПК на пути к цифровой зрелости. — Текст: электронный // Agroinvestor: [сайт]. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/45435-rustark-modifitsiruet-krakhmaly-novoe-predpriyatie-kompaniya-zapustit-vo-vtorom-kvartale-2026-goda/> (дата обращения: 04.06.2026).
4. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Агр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / Г. И. Абдрахманова, К. Б. Быховский, Н. Н. Веселитская [и др.]. — Текст: непосредственный // Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. — М.: Изд. дом Высшей шк. экономики, 2021. — 242 с.
5. Проблемы рынка IoT в России: анализ и пути улучшения / А. А. Ванечкин, М. С. Кириллов, Г. А. Тимофеев [и др.]. — Текст: непосредственный // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 3.
6. C-Pilot Интеллектуальная система автономного вождения. — Текст: электронный // tadviser.ru: [сайт]. — URL: <https://www.tadviser.ru/a/375641> (дата обращения: 04.06.2026).
7. Исследование направлений развития экономики данных в сельском хозяйстве: аналит. обзор / В. С. Гринько, М. В. Дулясова, О. А. Моторин [и др.]. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2025. — 144 с. — Текст: непосредственный.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 24 (627) / 2026

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шульга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шишков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылка на журнал обязательна.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый». 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.

Номер подписан в печать 24.06.2026. Дата выхода в свет: 1.07.2026.

Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.

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

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25, пом. 1, 3, 4, 5, 6.