

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



16+

2026
ЧАСТЬ I

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 20 (623) / 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 *Павел Николаевич Яблочков* (1847–1894), русский электротехник, военный инженер, изобретатель и предприниматель.

Павел Николаевич Яблочков родился в селе Жадовка Саратовской губернии в дворянской семье. С самого детства он любил конструировать: придумал угломерный прибор для землемерных работ, устройство для отсчета пути, пройденного телегой.

Яблочков окончил Николаевское инженерное училище в Петербурге, а через некоторое время — Техническое гальваническое заведение в Кронштадте. Тогда это была единственная в России школа, которая готовила специалистов в области электротехники. Там будущий ученый познакомился с новейшими достижениями в области изучения и технического применения электрического тока.

В 1872 году Павел Николаевич переехал в Москву. Именно тогда он начал изобретать, однако успехов на данном поприще достиг лишь в 1874 году, когда создал мастерскую физических приборов, где проводил работы по электротехнике, которые в дальнейшем легли в основу его изобретений в области электрического освещения, гальванических элементов и аккумуляторов.

Весной 1874 года Яблочкову представилась возможность практически применить электрическую дугу для освещения. Из Москвы в Крым должен был следовать правительственный поезд. Впервые в истории железнодорожного транспорта на паровозе установили прожектор с дуговой лампой — регулятором Фуко.

Яблочков был членом кружка электриков-изобретателей при Московском политехническом музее. Здесь он узнал об опытах Александра Лодыгина по освещению улиц и помещений электрическими лампами, после чего решил заняться усовершенствованием существовавших тогда дуговых ламп. К 1875 году относится одно из его главных изобретений — «электрическая свеча».

В том же году Яблочков уехал в Париж, где создал промышленный образец электрической лампы, а через год запатентовал свою «электрическую свечу». Ее первая демонстрация состоялась в 1876 году в Лондоне, и в Париж Павел Николаевич вернулся уже известным изобретателем. Сразу же была создана кампания по эксплуатации его патентов. Специальный завод производил несколько тысяч «свечей» в день. Они получили применение главным образом в уличном освещении.

Также Яблочков разработал и внедрил систему электрического освещения на однофазном переменном токе, разработал способ «дробления света посредством индукции катушек» и др. Система освещения Яблочкова, получившая название «русский свет», пользовалась исключительным успехом. Компании по ее коммерческой эксплуатации были основаны во многих странах мира.

В России первая проба электрического освещения по системе Яблочкова была проведена осенью 1878 года: были освещены казармы и площадь в Кронштадте, а также Большой театр в Петербурге. Ни одно из изобретений в области электротехники не получало столь быстрого и широкого распространения, как «свечи» Яблочкова. Это был подлинный триумф русского инженера, а его изобретение ускорило решение многих насущных технических задач и легло в основу будущей электротехнической промышленности.

После изобретения «свечи» Яблочков очень много работал и в России, и за рубежом. В 1879 году он организовал «Товарищество электрического освещения П. Н. Яблочков-изобретатель и Ко», в числе акционеров которой были промышленники, финансисты, военные. Компания открыла электромеханический завод в Петербурге, производивший осветительные установки для военных судов, заводов военно-морского ведомства и для многих городов России.

С 1880-х годов Павел Николаевич занимался главным образом вопросами генерирования электрической энергии: созданием динамомаши и гальванических элементов. Инженер провел много исследований в области превращения энергии топлива в электрическую энергию. В последующие годы он получил ряд патентов на электрические машины.

Яблочков также был участником электротехнических выставок в России и в Париже, участником Первого международного конгресса электриков, стал одним из инициаторов создания электротехнического отдела Русского технического общества и журнала «Электричество». Он был награжден медалью императорского Русского технического общества и французским орденом Почетного легиона.

Умер талантливый ученый Павел Николаевич Яблочков в 1894 году в Саратове от болезни сердца. Он был похоронен в селе Сапожок Саратовской области в фамильном склепе.

В конце 1930-х годов Михайло-Архангельскую церковь разрушили, при этом пострадал и фамильный склеп Яблочковых. По решению АН СССР 26 октября 1952 года на могиле П. Н. Яблочкова был воздвигнут памятник, который представляет собой каменное изваяние. На лицевой стороне — барельеф с изображением изобретателя, а ниже установлена мемориальная доска, на которой выбиты слова: «Здесь покоится прах Павла Николаевича Яблочкова — выдающегося русского изобретателя в области электротехники (1847–1894 гг.)». По боковым сторонам расположены изображения «свечи» Яблочкова, электрической машины эклипс, гальванических элементов. На памятнике выбиты слова Павла Николаевича: «Электрический ток будет подаваться в дома, как газ или вода».

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Аблабеков Б. С., Ороскулова Г. К.**
Об одной математической модели
психофизиологической адаптации 1

ФИЗИКА

- Иванов С. А.**
Пуск высоковольтного двигателя
с применением частотно-регулируемого
привода 5

ХИМИЯ

- Nguyen Thi Lan Huong, Nguyen Thuy Trang**
Preliminary phytochemical screening
and antibacterial activity of ethanol extract
of guava leaves 8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Андреевский М. А.**
Анализ данных пассажиропотока
московского метро на основе открытых
источников с применением методов
машинного обучения 12
- Бозюкова Л. С., Силантьев М. В.**
Разработка программного модуля
учета рабочего времени сотрудников,
интегрированного в PLM-систему T_FLEX 19
- Yermanova M. K.**
Artificial intelligence in education: current
state and development prospects 21
- Жарков Н. А.**
Автоматизированное UI-тестирование:
понятие, принципы и инструменты 26
- Ибрагимова А. А.**
Сравнительный анализ отечественного
и зарубежного программного обеспечения
для 4D-моделирования в строительстве 28

- Кашпаров Г. И.**
Разработка программного средства для
анализа и генерации ответов на отзывы
с маркетплейсов 32
- Крылов Д. Э.**
Интеллектуализированный архив вуза:
архитектурное проектирование 34
- Кулагина Д. А., Трунова Е. И.**
Развитие технологий 5G: реальность,
ограничения и перспективы 35
- Миронов А. В.**
Применение метода Monkey Patching
для синхронизации доступа
к последовательному порту 39
- Мякишев Д. Д.**
Сравнительный анализ классических
и нейросетевых методов оценки текстовой
похожести в задаче распределения тем
выпускных квалификационных работ 41
- Нижегородова К. А.**
Методика промпт-инжиниринга с учетом
педагогическими ограничениями
для генерации адаптивных заданий
по программированию 46
- Рослякова П. Ю.**
Исследование и разработка алгоритма
текстового поиска по медиаконтенту 48
- Силантьев М. В., Бозюкова Л. С.**
Разработка программного модуля
алгоритмов вычислительной геометрии 50
- Степанов Н. С., Тарасов Д. А., Кузьмина К. А.**
Архитектура метаданных, статистика
и механизмы отброса данных в Apache
Iceberg при использовании Apache Spark 3.5 ... 53
- Ходиев С. М.**
Разработка архитектуры распределённого
хранения неструктурированных сеток для
программного комплекса MARPLE3D 58
- Шадкам Я.**
Разработка интеллектуальной системы
управления для сбора и анализа данных
из открытых источников с целью создания
рекомендательной системы в сфере туризма ... 60

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Жумагул Н. Б.

Анализ воздействия изменения климата
на сельскохозяйственные угодья
Енбекшиказахского района65

Жумагул Н. Б.

Влияние изменения климата
на сельскохозяйственные угодья.....68

Тихонова А. С.

Результаты исследования работы
беспилотного воздушного судна DJI «AGRAS
T20» при внесении гербицидов70

МАТЕМАТИКА

Об одной математической модели психофизиологической адаптации

Аблабеков Бактыбай Сапарбекович, доктор физико-математических наук, профессор;

Ороскулова Гульзина Кадырбековна, студент магистратуры

Кыргызский национальный университет имени Жусупа Баласагына (г. Бишкек, Кыргызстан)

Рассматриваются особенности влияния физических упражнений и спортивных занятий на психофизиологическую адаптацию иностранных студентов к обучению в постсоветских университетах. Предложена математическая модель, устанавливающая взаимосвязь между темпом адаптации иностранных студентов и уровнем их физической активности. Модель представлена в виде нелинейным обыкновенным дифференциальным уравнением с граничным условием в начальный момент времени. Искомой функцией в уравнении является уровень ПФА. Приведены графики, поясняющие принцип работы модели. Оптимальная физическая нагрузка для индивидуальных, групповых и спортивных упражнений определяется путем анализа результатов, полученных с использованием разработанной модели. Сделан вывод о необходимости групповых и индивидуальных физических упражнений с регулярностью от 4 до 8 часов в неделю в зависимости от интенсивности спортивной нагрузки. Намечены потенциальные области применения модели для решения задач, отличных от задачи адаптации иностранных студентов к обучению в университетах.

Ключевые слова: распределение плотности вируса, генотип, нелокальное реакционно-диффузионное уравнение, распространение волн, развитие инфекции, интегральное уравнение Вольтерра.

Peculiarities of influence of physical exercises and sports activities on psychophysiological adaptation (PPA) of international students to learning performance at Russian universities are considered. A mathematical model establishing relations between adaptation rate of international students and their physical activity level is proposed. The model is represented by a single ordinary differential equation with a boundary condition at the initial instant of time. The sought-for function in the equation is the level of PPA. Graphs explaining the principle of work of the model are included. Optimum physical loading for individual, group, and sports exercises is determined through analysis of results obtained using the developed model. A conclusion is drawn on the necessity of group and individual physical exercises with regularity ranging from 4 to 8 h per week depending on the intensity of sports loading. Potential applications of the model to solving problems other than the problem of adaptation of international students to studying at universities are outlined.

Keywords: mathematical model, Physical exercises, Psychophysiological adaptation.

Введение

Математическое моделирование является ключевым процессом решения сложных задач, которые возникают в бизнесе и промышленности, а также в прикладной математике в инженерии и других областях.

Благодаря прикладной направленности математического моделирования, существует множество реальных задач, поддающихся математическому моделированию, таких как прогнозирование численности популяций диких животных, стоимости междугородних телефонных звонков, скорости потока воды в ирригационных системах и даже самой быстрой очереди на кассе в продуктовом магазине.

Психофизиологические аспекты адаптации иностранных студентов в основном отражены в работах российских авторов, и решающая роль психофизиологической сферы в процессах адаптации иностранных студентов считается хорошо изученной (с. [1–4]). Мы считаем, что адаптация начинается с этапов биологической (физиологической) и психологической адаптации, а социальную адаптацию следует рассматривать как заключительный этап адаптации иностранного студента к обучению в иностранной культурной среде. Адаптация к чужой культуре является одной из главных проблем, с которыми сталкиваются иностранные студенты. С первого же дня пребывания в высшем учебном заведении иностранные студенты оказываются в непривычной социокультурной, языковой и этнической среде, к которой им необходимо адаптироваться в кратчайшие сроки.

Сам процесс адаптации довольно сложен и включает в себя несколько типов адаптации: физиологическую, индивидуально-психологическую, социально-психологическую, этнопсихологическую, культурную, коммуникативную и другие типы адаптации. Эти типы адаптации, особенно на начальном этапе обучения, проявляются одновременно и представляют собой серьезные препятствия как в информационной, так и в коммуникативной деятельности. Следовательно, определяющими факторами, способствующими повышению эффективности и ускорению адаптации, являются процессы адаптации иностранных студентов являются неотъемлемой частью решения проблемы адаптации этой категории студентов.

Отметим, что в мировой науке проблема адаптации является объектом исследования для многих областей науки: педагогики, психологии, биологии, физиологии, философии и социологии. Важно знать, что представители всех научных направлений единодушно признают, что стремление организма к восстановлению и сохранению «динамического равновесия» с окружающей (социальной) средой является главной движущей силой процесса адаптации.

Что касается российской школы мысли, то исследование феномена адаптации в педагогике, психологии и медицине связано, в первую очередь, с именами следующих русских ученых: Н. Е. Введенского, И. А. Давыдова, И. П. Павлова, И. М. Сеченова и А. А. Ухтомского. Доминирующая роль психофизиологической функции организма в запуске механизмов адаптации анализировалась в работах русских ученых: Ф. Б. Березина, С. П. Короленко и В. И. Медведева.

Математическая модель одной психофизиологической модели РРА. Психофизиологические аспекты адаптации иностранных студентов нашли наилучшее отражение в работах российских исследователей; благодаря их усилиям, определяющая роль психофизиологической сферы в процессах адаптации иностранных студентов стала общепринятой (см. [8].) Мы считаем, что адаптация начинается со стадий биологической (физиологической) и психологической адаптации; социальную адаптацию следует рассматривать как заключительную стадию адаптации иностранного студента к обучению в иностранной культурной среде.

Сначала мы определим общие принципы, необходимые для разработки модели адаптации. Мы будем предполагать, что значения РРА варьируются в интервале $[0, 1]$. Более того, значение РРА $u(t) = 0$ соответствует состоянию полной дезадаптации личности, а значение РРА $u(t) = 1$ соответствует абсолютной адаптации.

Основным математическим модулем психофизиологической модели является уравнение Бернулли, которое имеет вид

$$u'(t) + P(t)u(t) = Q(t)u^n(t), \quad (1)$$

где $n \neq 0, n \neq 1$.

Известно, что скорость изменения РРА снижается, когда РРА приближается к граничным значениям. Действительно, это означает, что сложнее вывести более дисбалансированный или более адаптированный организм из его состояния.

Аналогичная корреляция между скоростью изменения РРА и РРА описывается уравнением Бернулли.

$$u'(t) - a(t)u(t) = a(t)u^2(t), \quad (2)$$

где $a(t)$ — коэффициент, отвечающий за адаптационные свойства организма. В общем случае он представляет собой функцию, зависящую от времени.

Уравнение (2) является частным случаем уравнение (1), здесь $P(t) = -a(t)$, $Q(t) = a(t)$, $n = 2$.

Найдем решение уравнение (2). Это уравнение Бернулли является нелинейным, но оно приводится к линейному следующим преобразованием:

1) Обе части уравнения умножаются на u^{-2} , тогда

$$u^{-2}u'(t) - a(t)u^{-1} = a(t).$$

2) Далее применяется подстановка $y = u^{-1}$.

Тогда по правилу дифференцирования сложной функции получим

$$\frac{dy}{dt} = -u^{-2}u', \text{ следовательно, } u^{-2}u' = -\frac{dy}{dt}.$$

В результате уравнение становится линейным относительно функции

$$y: -y' - a(t)y = a(t). \quad (3)$$

Находим сначала решение соответствующего линейного однородного уравнения

$$y'(t) + a(t)y(t) = 0.$$

После разделения переменных получим:

$$y'(t) + a(t)y(t) = 0 \Rightarrow \int \frac{dy}{y} = - \int a(t)dt \Rightarrow$$

$$\ln|y(t)| = \ln e^{-\int a(t)dt} + \ln|c|.$$

Отсюда

$$y(t) = Ce^{-\int a(t)dt}. \quad (4)$$

Теперь решим неоднородное уравнение (3) методом вариации произвольных постоянных. Его суть состоит в том, что решение уравнения (3) ищут в том же виде, что и решение соответствующего однородного уравнения (43), но C уже считают не постоянной, а неизвестной функцией от x .

Таким образом, решение уравнения (4.1) ищем в виде

$$y(t) = C(t)e^{-\int a(t)dt}. \quad (5)$$

Тогда

$$y'(t) = C'(t)e^{-\int a(t)dt} - a(t)C(t)e^{-\int a(t)dt}. \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в уравнение (3), получим

$$C'(t)e^{-\int a(t)dt} - a(t)C(t)e^{-\int a(t)dt} + a(t)C(t)e^{-\int a(t)dt} = a(t)$$

или

$$C'(t) = a(t)e^{\int a(t)dt}.$$

Отсюда

$$C(t) = \int_{t_0}^t a(t)e^{\int_{t_0}^t a(t)dt} + C, \quad C = \text{const.}$$

Подставив это выражение для $C(t)$ в (5), общее решение уравнения (3) запишем в виде

$$y(t) = \left(\int_{t_0}^t a(t)e^{\int_{t_0}^t a(t)dt} + C \right) e^{-\int_{t_0}^t a(t)dt}. \quad (7)$$

Тогда относительно искомой функции $u(t)$, подучим выражение

$$u(t) = y^{-1}(t) = \left(\left(\int_{t_0}^t a(t)e^{\int_{t_0}^t a(t)dt} dt + C \right) e^{-\int_{t_0}^t a(t)dt} \right)^{-1}. \quad (8)$$

Замечание. При решении конкретных уравнений имеет смысл не применять формулу (6), а проводить вычисления по схеме самостоятельно.

Пример 1. Пусть $a(t) = a_0 = \text{const}$. Тогда из формулы (8) находим

$$u(t) = \left(\left(a_0 \int_{t_0}^t e^{a_0(t-t_0)} dt + C \right) e^{-a_0(t-t_0)} \right)^{-1}$$

или

$$u(t) = \left((e^{a_0(t-t_0)} + C) e^{-a_0(t-t_0)} \right)^{-1} \Rightarrow u(t) = \frac{1}{1 + C e^{-a_0(t-t_0)}}.$$

Здесь C — константа, определяемая начальным условием. Для этого нужно использовать величину адаптации в нулевой момент времени в качестве начального условия, т. е. $u(0) = u_0$. Тогда выражение для C принимает вид:

$$C = \frac{1 - u_0}{u_0}.$$

Ниже приводим анализ полученное решение. Поскольку C неотрицательно, то значение u_0 будет находиться в диапазоне: $0 \leq u_0 \leq 1$.

Для различных значений коэффициентов адаптации $a(t) = a_0$ можно получить различные графики $u(t)$. При этом все кривые монотонны, и значение $u(t)$ изменяется от начального значения адаптации $u_0 = 0,5$ до конечного значения $u_0 = 0$ или $u_0 = 1$. Более того, большее значение параметра $a_0 > 0$ приводит к более быстрой скорости полной адаптации, т. е. к асимптоте $u(t) = 1$; отрицательное значение приводит к дезадаптации, т. е. к асимптоте $u(t) = 0$.

Пример 2. Рассмотрим ситуацию, в которой человек и адаптационные свойства, связанные с человеком $a(t)$, подвергаются циклическим колебаниям. Предположим, что организм находится в адаптационном равновесии, и единственным фактором, которому он подвергается, являются циклические колебания. Тогда коэффициент адаптации можно записать в форме: $a(t) = \beta \sin \alpha t, \beta = \text{const}$. Подставляя в формулу (7) функцию $a(t) = \beta \sin \alpha t$, имеем

$$u(t) = \left(\left(\beta \int_{t_0}^t \sin \alpha t e^{\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} dt + C \right) e^{-\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} \right)^{-1} = \left(\left(\frac{\beta}{\alpha} e^{\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} + C \right) e^{-\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} \right)^{-1}.$$

Отсюда

$$u(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha} + C e^{-\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} \right)^{-1}$$

или

$$u(t) = e^{\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} / \left(\frac{\beta}{\alpha} e^{\frac{\beta}{\alpha} \cos \alpha t} + C \right).$$

Если параметр C выбрать равным $\pi/2$ (1-неделя), что соответствует 4-х недельному циклу. Зависимость адаптации $u(t)$ от времени t для случая постоянного коэффициента адаптации a_0 . Начальная адаптация $u_0 = 0,5$. Сплошная линия соответствует случаю $a_0 = 0,05$, пунктирная линия — случаю $a_0 = 0,15$, точечная линия — случаю $a_0 = -0,05$.

Пример 3. Мы рассмотрим более общий случай, в котором будут представлены факторы, стимулирующие адаптацию с циклическими колебаниями. Тогда уравнение (2) примет следующий вид:

$$u'(t) = (\alpha + \beta \sin c t) u(t)(1 - u(t)), \quad \alpha, \beta = \text{const}. \quad (9)$$

Кроме того, явное решение уравнения принимает следующий вид: кроме того, явное решение уравнения принимает следующий вид:

$$u(t) = \left(\left(\int_{t_0}^t (\alpha + \beta \sin c t) e^{\int_{t_0}^t (\alpha + \beta \sin c t) dt} dt + C \right) e^{-\int_{t_0}^t (\alpha + \beta \sin c t) dt} \right)^{-1}.$$

Вычислим это выражение.

$$u(t) = \left(\left(e^{(\alpha t - \frac{\beta}{c} \cos c t)} + C \right) e^{-(\alpha t - \frac{\beta}{c} \cos c t)} \right)^{-1} = \left(1 + C e^{-(\alpha t - \frac{\beta}{c} \cos c t)} \right)^{-1}.$$

или

$$u(t) = \frac{e^{(\alpha t - \frac{\beta}{c} \cos c t)}}{e^{(\alpha t - \frac{\beta}{c} \cos c t)} + C}.$$

Выводы

Модифицирован математическая модель, учитывающая влияние физических и спортивных упражнений на уровень физической активности иностранных студентов, обучающихся в университетах. Студентам с достаточным уровнем адаптации необходимо в рамках оптимального двигательного режима чередовать двигательную нагрузку как количественно (по времени), так и качественно (по интенсивности и типу двигательной активности).

Литература:

1. Furnham A, Bochner S. Culture Shock: Psychological Reactions to Unfamiliar Environment. London: Methuen; 1986.
2. Furnham A. Foreign students: Education and culture shock. Psychologist. 2004;17(1):116–9.
3. Zhoua Y, Jindal-Snapea D, Toppinga K, Todman J. Theoretical models of culture shock and adaptation in international students in higher education. Stud High Educ. 2008;33(1):63–75.
4. Gilla S. Overseas students' intercultural adaptation as intercultural learning: A transformative framework. J Comp Int Educ. 2007;37(2):167–83.
5. Wong-Rieger D. Testing a model of emotional and coping responses to problems in adaptation: Foreign students at a Canadian university. Int J Intercult Relat. 1984;8(2):153–84.
6. Sevrjukova GA. Psychophysiological Criteria for the Adaptation of Foreign Students to the Conditions of Study and Residence in Russia. Volgograd: Diss. Kand. Biol. Nauk; 2000.
7. Fazleeva EV, Shalavina AS, Pasmurov GI, Rahimov MI. Physical training at university as a means of adaptation of foreign students to the study in different
8. Berestneva OG, Sharopin KA. Building models of students' adaptation to higher education. Bulletin of Tomsk Polytechnic University. 2004;5(307):131–5.
9. Romanov DA. Mathematical modeling in the structure of informatization of physical education. Proceedings of University Named After P. F. Lesgafta. 2011;1(71):90–5.
10. Gerget OM, Kochegurov VA, Titarenko EJ. Modeling of adaptation processes. Sovrem Probl Nauk Obrazovaniya. 2014;3:165–178.
11. Tumakov D, Fazleeva E, Akberov R, Valeeva A. International students and adaptation to physical activities at a Russian university. South Afr J Res Sport Phys Educ Recreation. 2017;7(2):350–352.
12. Tumakov, D., Fazleeva, E., Akberov, R., & Valeeva, A. (2018). Adaptation to physical activities by international students at a Russian university. South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 40(1), 157–166.
13. Tumakov, D., Godovykh, C., & Valeeva, A. (2018). Mathematical model of socio-psychological adaptation through a person's interaction with the environment, Herald National Academy of Managerial Staff of Culture and Arts, 3, 310–318

ФИЗИКА

Пуск высоковольтного двигателя с применением частотно-регулируемого привода

Иванов Станислав Александрович, студент магистратуры
Уфимский государственный нефтяной технический университет

Рассмотрены особенности пуска высоковольтных электродвигателей с применением частотно-регулируемого привода. Показано влияние способа пуска на токовые нагрузки, просадку напряжения питающей сети и механические перегрузки приводимого механизма. Приведены структура высоковольтного преобразователя частоты, основные требования к алгоритму разгона, ограничению тока и синхронному переводу двигателя на сеть после окончания пуска.

Ключевые слова: высоковольтный электродвигатель, частотно-регулируемый привод, преобразователь частоты, пусковой ток, синхронный трансфер.

Введение

Высоковольтные электродвигатели напряжением 3, 6 и 10 кВ широко применяются в приводах насосных, компрессорных, вентиляционных и мельничных агрегатов. Для таких механизмов характерны значительная единичная мощность, большие моменты инерции и повышенные требования к надежности электроснабжения. Прямой пуск двигателя от сети является наиболее простой схемой, но он сопровождается кратковременным броском тока, электродинамическими усилиями в обмотках, ударными нагрузками в муфтах и возможной посадкой напряжения на шинах распределительного устройства. При недостаточной мощности питающей сети это может привести к нарушению устойчивости работы других электроприемников.

Для уменьшения пусковых воздействий применяются реакторный и автотрансформаторный пуск, устройства плавного пуска на тиристорных регуляторах напряжения, а также частотный пуск. Реакторный и автотрансформаторный способы снижают ток за счет пониженного напряжения на статоре, но одновременно уменьшают электромагнитный момент двигателя. Устройства плавного пуска повышением напряжения дают более мягкую диаграмму тока, однако момент асинхронного двигателя при этом также зависит от квадрата напряжения. Поэтому при тяжелом пуске и высоком моменте сопротивления наиболее эффективным является пуск с одновременным регулированием частоты и напряжения [2, 7].

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) позволяет формировать требуемую траекторию разгона, поддерживать потокосцепление двигателя близким к номинальному и ограничивать ток статора заданным значением. Для вы-

соковольтных электроприводов требования к силовым преобразователям, системе управления и условиям эксплуатации рассматриваются в нормативных документах для регулируемых приводов переменного тока свыше 1000 В [1].

Особенности пуска высоковольтных двигателей

При выборе способа пуска необходимо учитывать тип двигателя, момент сопротивления механизма, приведенный момент инерции, допустимую просадку напряжения и тепловое состояние обмоток. Для механизмов с вентиляторной характеристикой нагрузочный момент при малой частоте вращения невелик, поэтому пуск может выполняться сравнительно плавно. Для шаровых мельниц, конвейеров, компрессоров и насосов, работающих под давлением, начальный момент сопротивления может быть высоким, что требует сохранения перегрузочной способности двигателя уже на низких скоростях.

У асинхронного двигателя при понижении напряжения уменьшается критический и пусковой момент, поэтому длительный разгон через реактор или тиристорный регулятор напряжения может сопровождаться перегревом ротора и статора. В ЧРП частота питающего напряжения увеличивается от начального значения до номинального, а напряжение изменяется по закону, близкому к $U/f = \text{const}$. Благодаря этому магнитный поток двигателя поддерживается на требуемом уровне, а электромагнитный момент не падает так резко, как при простом снижении напряжения.

Для синхронных двигателей задача пуска усложняется необходимостью согласования разгона ротора с вращающимся полем статора и системой возбуждения. Возможен

асинхронный пуск с отключенным возбуждением, но для крупных высоковольтных машин более предпочтителен частотный пуск с включенным возбуждением. В этом случае преобразователь частоты задает малую начальную частоту, а система управления обеспечивает такой темп разгона, при котором двигатель не выходит из синхронизма. После достижения скорости, близкой к номинальной, выполняется синхронизация с сетью и перевод на байпас [3, 4].

Структура частотно-регулируемого привода для пуска

Высоковольтный ЧРП для пуска включает входной коммутационный аппарат, токоограничивающие реакторы или трансформатор, выпрямитель, звено постоянного тока, инвертор, систему управления, защиты и, при необходимости, выходной фильтр. Если преобразователь используется только как пусковое устройство, после завершения разгона двигатель подключается к сети через байпасный выключатель, а преобразователь может быть подготовлен к запуску следующего двигателя. Такая схема называется групповым частотно-регулируемым пуском.

В современных приводах применяются две основные группы силовых схем. Первая группа — многоуровневые преобразователи напряжения на IGBT или IGCT приборах. Они обеспечивают плавное регулирование скорости в рабочем диапазоне, развитые функции диагностики и возможность применения в технологических процессах, где требуется постоянное изменение частоты вращения. Вторая группа — тиристорные преобразователи с управляемым выпрямителем и зависимым инвертором тока. Такие устройства целесообразны для пуска мощных синхронных двигателей, когда регулирование скорости после разгона не требуется [3, 4].

Преобразователь с инвертором тока формирует ток статора и изменяет его частоту в процессе разгона. На малых скоростях коммутация тириستоров может выполняться принудительно, а при росте ЭДС двигателя инвертор переходит к естественной коммутации. Ограничение тока на уровне, близком к номинальному, уменьшает просадку напряжения в питающей сети и снижает тепловые нагрузки на электродвигатель. Для синхронных двигателей дополнительно требуется согласованная работа преобразователя и возбуждателя [4].

Алгоритм пуска и настройка параметров

Алгоритм пуска начинается с проверки готовности силовой схемы, исправности цепей управления, состояния блокировок, системы охлаждения и защит двигателя. Далее преобразователь формирует начальную частоту и напряжение, достаточные для создания пускового момента. Для асинхронных двигателей чаще применяется скалярное управление с постоянным отношением U/f и добавкой напряжения на низких частотах для компен-

сации падения напряжения на сопротивлении статора. При высоких требованиях к динамике используется векторное управление с раздельным регулированием потоко-сцепления и момента.

Время разгона задается с учетом механической характеристики рабочей машины. Слишком короткая рампа приводит к росту тока и возможному срабатыванию ограничения, а чрезмерно длинная увеличивает тепловые потери в двигателе и преобразователе. Для насосов и вентиляторов целесообразна S-образная характеристика нарастания частоты, позволяющая уменьшить гидравлические и механические удары. Для механизмов с постоянным моментом сопротивления важно обеспечить достаточный момент на всем участке разгона, особенно в зоне малых частот.

Основными регулируемыми параметрами являются начальная частота, начальное напряжение, предельный ток, допустимое время пуска, тип кривой разгона, уставки защит от перегрузки и минимального напряжения. На практике ток пуска при частотно-регулируемом разгоне выбирается существенно ниже, чем при прямом включении, и обычно находится в пределах 1,1–1,5 номинального тока в зависимости от типа преобразователя, двигателя и характера нагрузки [3, 4].

После выхода на частоту сети выполняется синхронный трансфер. Система управления сравнивает напряжение двигателя с напряжением сети по амплитуде, частоте и фазе. При достижении допустимого рассогласования подается команда на включение байпасного выключателя, после чего преобразователь разгружается и отключается от цепи статора. Качество синхронного трансфера определяет отсутствие бросков тока, толчков момента и коммутационных перенапряжений.

Преимущества и ограничения применения ЧРП

Основным преимуществом частотно-регулируемого пуска является возможность снижения пускового тока без потери момента. Это особенно важно для объектов с ограниченной мощностью питающей сети, длинными кабельными линиями и большим количеством ответственных электроприемников. Дополнительным преимуществом является уменьшение механических нагрузок на вал, муфты, редукторы и приводимый механизм. Программируемая траектория разгона повышает повторяемость пуска и облегчает настройку технологического процесса.

К ограничениям относятся высокая стоимость преобразователя, необходимость размещения высоковольтного оборудования, требования к вентиляции и охлаждению, а также влияние преобразовательной техники на качество электроэнергии. При проектировании необходимо оценивать гармонический состав входного тока, реактивную мощность, электромагнитную совместимость с цепями релейной защиты и автоматизации. Для двигателей с длительным кабельным присоединением и старой изоляцией следует учитывать крутизну фронтов напря-

жения на выходе инвертора и при необходимости применять выходные фильтры или специальные кабельные решения [1, 6].

Если ЧРП используется не только для пуска, но и для регулирования скорости, экономический эффект может быть связан со снижением энергопотребления механизмов с вентиляторной характеристикой. Если же технологический процесс требует только пуска на номинальную скорость, целесообразность применения постоянного высоковольтного преобразователя должна сравниваться с вариантом группового пускового устройства и байпасным подключением двигателя к сети.

Заключение

Пуск высоковольтного электродвигателя с применением частотно-регулируемого привода является эффективным способом ограничения пускового тока, снижения просадки напряжения и уменьшения механических ударов. В отличие от способов, основанных только на сни-

жении напряжения статора, частотный пуск позволяет сохранять требуемый электромагнитный момент в широком диапазоне скоростей. Для асинхронных двигателей это достигается управлением законом U/f или векторным регулированием, а для синхронных двигателей — согласованным управлением частотой, током статора и возбуждением.

При выборе ЧРП необходимо учитывать мощность и тип двигателя, механическую характеристику нагрузки, допустимое время разгона, параметры питающей сети, условия синхронного трансфера и требования к электромагнитной совместимости. Для объектов, где регулирование скорости не требуется, рациональным решением может быть групповое устройство частотного пуска с последующим переводом двигателя на сеть. Для технологических агрегатов с переменной производительностью предпочтительно применение полноценного высоковольтного преобразователя частоты, обеспечивающего как плавный пуск, так и энергоэффективное регулирование скорости.

Литература:

1. ГОСТ Р МЭК 61800–4–2012. Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 4. Общие требования. Номинальные технические характеристики систем силовых приводов переменного тока свыше 1000 В и не более 35 кВ. URL: https://www.elec.ru/library/gosts_e72/gost-r-mek-61800-4-2012/
2. Ткачук А. А., Шилин С. И. Система частотно-регулируемого плавного пуска высоковольтных синхронных электроприводов // ЭППТ 2018, Екатеринбург, 26–30 марта 2018.
3. Высоковольтные преобразователи частоты для плавного пуска синхронных двигателей ПЧСД-В-Г // Автоматизированные системы и комплексы. URL: <https://asc-ural.ru/products/ci/fc-pgchp/>
4. Устройство безударного плавного пуска УБПВД-С и регулирования скорости УБПВД-СР // Система 21. URL: <https://www.systema21.ru/novyyj-katalog/item/ustrojstvo-bezudarnogo-plavnogo-puska-ubpvd-s-i-regulirovaniya-skorosti-ubpvd-sr>
5. Устройства плавного пуска электродвигателей напряжением 3–10 кВ и мощностью до 17 МВт. ООО НПП «ЭКРА». 2016. Издание 9. 32 с.
6. ABB. ACS2000 medium voltage industrial drives. URL: <https://new.abb.com/drives/medium-voltage-ac-drives/acs2000>
7. Усольцев А. А., Лукичев Д. В., Ловлин С. Ю., Никитина М. В., Поляков Н. А. Моделирование переходных режимов в асинхронном электроприводе со скалярным частотным управлением. СПб: Университет ИТМО, 2023. 74 с.
8. Вейгнер А. М. Регулируемые электроприводы переменного тока. М., 2009.
9. Абрамович Б. Н., Устинов Д. А., Коновалов Ю. В. Выбор способа пуска синхронного двигателя, используемого в качестве потребителя // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 6. URL: <http://www.ogbus.ru>
10. Система мягкого частотного пуска типа СМП-М-П // Инженерная компания ТЕХНОРОС. URL: <https://technoros.spb.ru/vvupp-smrc.html>

ХИМИЯ

Preliminary phytochemical screening and antibacterial activity of ethanol extract of guava leaves

Nguyen Thi Lan Huong, ph.d. in engineering, lecturer;
Nguyen Thuy Trang, master's degree, teacher
Thuyloi University (Hanoi, Vietnam)

Introduction

Guava (*Psidium guajava* L.) belongs to the Myrtaceae family and is widely cultivated in many tropical and subtropical countries, including Vietnam [1], [2]. Its leaves are rich in bioactive compounds such as flavonoids, tannins, and polyphenols, which contribute to significant biological properties, including antioxidant, antibacterial, and therapeutic effects against various metabolic disorders [1]. Previous studies have demonstrated that guava leaf extracts can inhibit several pathogenic microorganisms [3], [4], [5]. In addition, some compounds isolated from guava leaves have shown strong antibacterial activity against bacterial strains such as *E. coli*, *S. typhi*, and *P. aeruginosa* [4]. Dong Du guava is commonly cultivated in Bat Trang commune, Hanoi, and provides high economic value for local farmers [2]. However, there have been no published studies on the chemical composition and antibacterial activity of Dong Du guava leaves. Therefore, this study was carried out to preliminarily screen the phytochemical constituents of ethanol extract from guava leaves using qualitative tests based on the methods of Shaikh and Patil [6] and Tiwari et al. [7], as well as to evaluate its antibacterial activity. The findings of this study may provide a scientific basis for the utilization of guava leaves in food and pharmaceutical applications.

Materials and methods

Materials

The research material was leaves of *Psidium guajava* L. (Figure 1), collected from a local garden in Bat Trang commune, Hanoi. The samples were collected on October 5, 2025, and transported to the Biotechnology Laboratory, Thuyloi University. Mature dark-green leaves were selected, while young leaves were removed. The samples were dried in the shade, ground into powder, and stored in vacuum bags until use. Chemicals used for phytochemical screening and antibacterial activity evaluation were purchased from China.

Methods

Preparation of the extract

A total of 100 g of powdered guava leaf sample was extracted with 96 % ethanol. The extraction process was subjected to the ultrasonic-assisted extraction method described by Van et al. (2025) [8]. For 100 g of sample, 600 mL of 96 % ethanol was added. Ultrasonic extraction was performed at 50°C for 45 min using an Elma-110 ultrasonic bath (Germany) with a frequency of 37 kHz and ultrasonic power of 150 W. The extraction was repeated three times. After each extraction, the supernatant was filtered through Whatman filter paper, and the residue was used for the next extraction cycle. The combined extracts from the three extractions were concentrated and dried using a rotary vacuum evaporator at 50°C under a pressure of 70 atm to obtain the crude extract coded as GA.100.

Qualitative Phytochemical Screening

To evaluate the presence of bioactive compounds in the GA.US and GA.24 extracts, qualitative chemical tests were carried out according to the methods described by Shaikh and Patil [6] and Tiwari et al. (2011) [9]. The control samples were GA.US and GA.24 extracts diluted to a concentration of 1 mg/mL. The procedures were conducted as follows:



Fig. 1. Guava leaves

- **Polyphenols and tannins test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 500 μL of distilled water and 2–3 drops of 5 % FeCl_3 solution. A positive reaction was indicated by the formation of a dark blue precipitate.
- **Flavonoids test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 500 μL of 10 % $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ solution. A yellow precipitate indicated the presence of flavonoids.
- **Terpenoids test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 500 μL of CH_2Cl_2 and 2–3 drops of concentrated H_2SO_4 . A brick-red or green precipitate indicated the presence of terpenoids.
- **Quinones test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 3–4 drops of 1 M HCl. The appearance of a green precipitate indicated the presence of quinones.
- **Coumarins test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 750 μL of 10 % NaOH solution. A yellow precipitate indicated the presence of coumarins.
- **Saponins test:** Fifty microliters of extract solution was mixed with 2 mL of distilled water and a few drops of vegetable oil, then heated at 90°C for 30 min. The formation of a milky emulsion indicated the presence of saponins.

Evaluation of antibacterial activity

The antibacterial activity of the extract was evaluated according to the method described by Tran Chi Linh et al. (2020) [10] against three pathogenic bacterial strains: *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Escherichia coli* ATCC 11105, and *Staphylococcus aureus* ATCC 6538. The extract was used at a concentration of 10 %. Agar wells were prepared, and 80 μL of extract solution was added into each well. The inhibition zone diameter was measured in millimeters (mm). Kanamycin at a concentration of 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ was used as the positive control.

Results and discussion

Qualitative phytochemical screening of guava leaf extract

The qualitative phytochemical screening of the GA.100 extract revealed the presence of polyphenols, tannins, flavonoids, terpenoids, and coumarins. In contrast, saponins and quinones were not detected. In the tests for polyphenols and tannins, flavonoids, and coumarins, clear color changes were observed during the reactions. The results are presented in Table 1.

Table 1. Qualitative screening results of bioactive compounds in guava leaf extract

Compounds	Polyphenol và tanin	Flavonoid	Terpenoid	Quinone	Coumarin	Saponin
GA.100	+++	+++	+	-	+++	-

(Note: (+++), (++): strongly present compounds; (+): present; (-): absent).

Table 2. Antibacterial activity of guava leaf extract

Microbial strains	Diameter of inhibition zone (mm)
<i>Bacillus cereus</i> SH46	13
<i>Escherichia coli</i> VTCC12272	15
<i>Staphylococcus aureus</i> VTCC1227	8

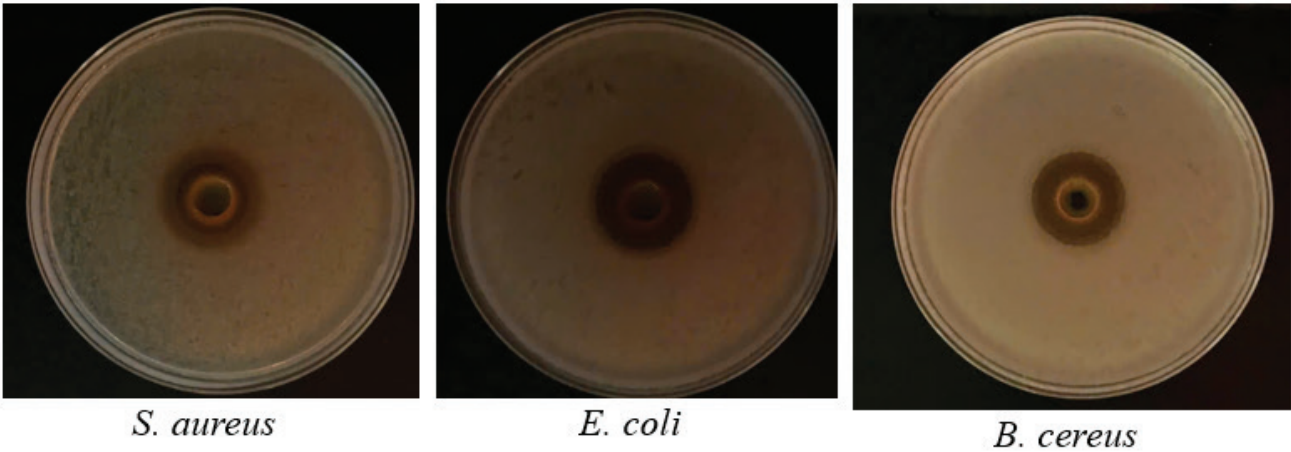


Fig. 2. Antibacterial assay of guava leaf extract

The antibacterial activity of the guava leaf extract, as determined by the agar well diffusion method, is summarized in Table 2 and Fig. 2. The guava leaf extract showed inhibitory effects against all three tested bacterial strains, including *Escherichia coli* VTCC12272, *Bacillus cereus* SH46, and *Staphylococcus aureus* VTCC1227. Among them, the extract exhibited the strongest antibacterial activity against *E. coli*, with an inhibition zone diameter of 15 mm, followed by *B. cereus* with an inhibition zone of 13 mm. In contrast, the antibacterial activity against *S. aureus* was lower, with an inhibition zone diameter of 8 mm. These results indicate that the ethanol extract of guava leaves possesses a relatively broad antibacterial spectrum against both Gram-negative and Gram-positive bacteria. The antibacterial activity may be related to the presence of secondary metabolites such as flavonoids, tannins, polyphenols, and terpenoids detected in the extract. These compounds may alter bacterial cell membrane permeability, inhibit enzyme activity, or cause leakage of intracellular components, thereby reducing bacterial growth.

In this study, *E. coli* was the most sensitive strain to the guava leaf extract. This result is consistent with the report of Nguyen Thi Bich Thuyen et al., in which guava leaf extract also showed strong inhibitory activity against *E. coli* [5]. In addition, Le Xuan Duy et al. [4] reported that some compounds isolated from guava leaves, such as guajaverin and ursolic acid, exhibited strong antibacterial activity against *E. coli*. For *S. aureus*, the smaller inhibition zone suggests that this bacterial strain may have higher resistance to the bioactive compounds present in the extract. Differences in bacterial sensitivity may be associated with variations in cell wall structure and physiological characteristics between Gram-positive and Gram-negative bacteria.

Conclusion

In conclusion, the findings of this study demonstrate that the ethanol extract of Dong Du guava leaves serves as a promising natural source of potent antibacterial agents. The presence of diverse phytochemicals, coupled with significant inhibitory activity against both Gram-negative and Gram-positive pathogens, provides a strong scientific foundation for further research. Future studies should focus on the isolation and characterization of specific bioactive compounds to facilitate the development of high-value applications in the food and pharmaceutical industries.

References:

1. Kumar, M., Tomar, M., Amarowicz, R., et al. (2021). Guava (*Psidium guajava* L.) leaves: Nutritional composition, phytochemical profile, and health-promoting bioactivities. *Foods*, 10(4), 752.
2. Nguyen, V. H., & Nguyen, M. C. (2014). Handbook and techniques for caring for guava trees. Agriculture Publishing House. (In Vietnamese).
3. Do, T. T. N., Doan, T. K. T., & Le, T. T. (2024). Total polyphenol content, antioxidant, antibacterial and antifungal activities of *Psidium guajava* L. extract. (In Vietnamese). *Can Tho Journal of Science and Technology*, 70, 30–38.

4. Le, X. D., Nguyen, T. K. A., Le, T. T. L., & Vu, T. T. L. (2025). Chemical constituents and antibacterial activity of compounds isolated from ethyl acetate extract of guava leaves (*Psidium guajava* L.) collected in Hung Yen province, Vietnam. (In Vietnamese). JNU Journal of Science and Technology, 61(5B), 352–362.
5. Nguyen, T. B. T., Cao, L. N. H., Doan, V. H. T., & Tran, T. M. (2023). Study on chemical composition and biological activity of *Psidium guajava* L. leaf extract. (In Vietnamese). CTU Journal of Innovation and Sustainable Development, 59(Special issue: Engineering and Technology), 129–133.
6. Shaikh, J. R., & Patil, M. (2020). Qualitative tests or preliminary phytochemical screening: An overview. International Journal of Chemical Studies, 8(2), 603–608.
7. Tiwari, P., Kumar, B., Kaur, M., et al. (2011). Phytochemical screening and extraction: A review. International Pharmaceutical Sciencia, 1, 89–106.
8. Van, N. T. C., Hoang, G. B., Nguyen, T. T. T., Pham, T. K. V., Vu, T. P., Tran, V. T., & Cao, T. H. (2025). Nghiên cứu tổng hợp xanh nano bạc từ cao chiết lá vú sữa *Chrysophyllum cainito* thu hái tại tỉnh Nam Định, Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 61(5B), 294–299.
9. Tiwari, P., Kumar, B., Kaur, M., et al. (2011). Phytochemical screening and extraction: A review. International Pharmaceutical Sciencia, 1, 89–106.
10. Tran, C. L., Dai, T. X. T., Pham, K. N. H., Vo, T. T. A., Luu, T. D., & Tran, T. M. (2020). Khảo sát hoạt tính sinh học của cao chiết từ rễ cây cỏ sen (*Milium velutina*). In Proceedings of the National Biotechnology Conference 2020 (pp. 1–7). Hue University Publishing House. (In Vietnamese).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Анализ данных пассажиропотока московского метро на основе открытых источников с применением методов машинного обучения

Андриевский Максим Александрович, студент магистратуры
МИРЭА — Российский технологический университет (г. Москва)

В статье автор исследует возможности применения открытых транспортных данных для мониторинга качества пассажирских перевозок в московском метрополитене. На материале квартальной статистики пассажиропотока за 2021–2025 годы, собранной через REST API портала открытых данных Правительства Москвы, проводится анализ динамики и сезонности нагрузки на сеть, выявляются закономерности распределения потоков между станциями и линиями, обнаруживаются статистически нетипичные периоды эксплуатации. На основе полученных результатов предлагается подход к построению инфраструктуры автоматизированного мониторинга, позволяющей своевременно сигнализировать об отклонениях от нормального режима работы и планировать ресурсы с учётом ожидаемой нагрузки.

Ключевые слова: московское метро, пассажиропоток, открытые данные, REST API, машинное обучение.

Введение

Московский метрополитен [1] является одной из крупнейших систем городского пассажирского транспорта в мире: по данным оператора, в 2023 году суммарный пассажиропоток превысил 2,5 млрд поездок. Интенсивное расширение сети — за последнее десятилетие открыто более 50 новых станций — сопровождается нарастающей нагрузкой на инфраструктуру и повышением требований к качеству транспортного обслуживания.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что традиционные подходы к оценке качества перевозок — анкетирование, аудиторские проверки, анализ жалоб — обладают рядом существенных ограничений: высокой трудоёмкостью, субъективностью и значительным временным лагом между возникновением проблемы и её фиксацией. Альтернативой служит автоматизированная обработка открытых транспортных данных: портал открытых данных Правительства Москвы [2] предоставляет структурированные датасеты в формате GeoJSON через REST API, что открывает возможности для воспроизводимых и масштабируемых аналитических исследований. Методы машинного обучения — кластеризация, поиск аномалий, регрессионное прогнозирование — применяются в транспортных исследованиях всё активнее, однако работ, ориентированных на российские открытые порталы и квартальный горизонт анализа, практически нет.

Цель работы — исследовать подходы к сбору, предобработке и анализу открытых транспортных данных московского метрополитена и на их основе разработать инструментарий мониторинга качества пассажирских перевозок.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- сбор данных через REST API портала data.mos.ru с поддержкой пагинации и локального кэширования;
- предобработка GeoJSON-ответов: преобразование в табличный формат, нормализация координат, расчёт производных показателей;
- разведочный анализ динамики и сезонности пассажиропотока на уровне сети, линий и отдельных станций;
- кластеризация станций по профилю нагрузки для выявления типовых транспортных функций;
- обнаружение статистически нетипичных периодов эксплуатации;
- построение и валидация модели краткосрочного прогнозирования пассажиропотока;
- геовизуализация результатов анализа.

1. Источники данных

1.1. Портал открытых данных Правительства Москвы

Правительство Москвы публикует транспортные данные на портале data.mos.ru в соответствии с принципами открытых государственных данных. Портал предоставляет доступ через REST API: все ответы возвращаются в формате GeoJSON FeatureCollection, что позволяет единообразно обрабатывать как атрибутивную, так и геометрическую информацию. Аутентификация осуществляется посредством ключа API, передаваемого в строке запроса. Пагинация реализована через параметры \$top (размер страницы) и \$skip (смещение); первый запрос выполняется без параметра \$skip в соответствии с особенностью реализации API.

1.2. Используемые датасеты

В исследовании задействованы три датасета, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Датасеты портала data.mos.ru, использованные в исследовании

№ Датасета	Тип / Период	Описание
624 [3]	Актуальные	Вестибюли станций: координаты, режим работы, статус эскалаторов
2278 [4]	Актуальные	Линии метрополитена: наименование, статус эксплуатации
62743 [5]	2021–2025, кварталы	Пассажиропоток по станциям: входящие / выходящие пассажиры, год, квартал, линия

Датасет 62743 является основным источником для анализа: он содержит поквартальные сведения о входящем и исходящем пассажиропотоке в разбивке по каждой станции и линии метрополитена за период с 2021 по 2025 год. Датасет 624 (вестибюли) служит для получения географических координат станций, поскольку в основном датасете координаты не предусмотрены: за координату станции принимается среднее значение координат всех её вестибюлей. Датасет 2278 (линии) применяется для нормализации наименований линий и сопоставления с атрибутом Line основного датасета.

1.3. Программный стек сбора данных

Сбор данных реализован в виде функции, написанной на языке Python 3 [6] с использованием библиотеки requests. Функция поддерживает два режима: одностраничный (для небольших датасетов, укладывающихся в один ответ, например линии метро) и постраничный (для крупных датасетов с автоматическим перебором страниц до исчерпания результатов). Для минимизации обращений к серверу предусмотрено локальное кэширование в формате JSON: при повторном запуске данные читаются из файла, что обеспечивает воспроизводимость даже при отсутствии интернет-соединения. Между страничными запросами введена задержка 200 мс во избежание превышения допустимой частоты обращений к API.

2. Методология

2.1. Предобработка данных

На этапе предобработки GeoJSON-ответы API преобразуются в плоские таблицы (объекты pandas DataFrame): из каждого объекта Feature извлекается поле properties.Attributes, содержащее структурированные атрибуты. Координаты вестибюлей, хранящиеся в источнике как строки с точкой в качестве десятичного разделителя, приводятся к числовому типу методом pd.to_numeric() с обработкой ошибок (errors='coerce'). Координаты станций вычисляются как среднее арифметическое координат всех вестибюлей соответствующей станции.

Для основного датасета пассажиропотока рассчитываются производные показатели: суммарный поток, показатель дисбаланса направлений и порядковый номер квартала (1–4). Поле Quarter преобразуется в упорядоченную категориальную переменную для корректной хронологической сортировки.

2.2. Применяемые методы машинного обучения

Сводный перечень применяемых аналитических методов представлен в таблице 2.

Таблица 2. Применяемые методы и инструменты

Задача	Метод	Реализация
Разведочный анализ	Статистические сводки, визуализации	pandas, matplotlib, seaborn
Типизация станций	K-Means кластеризация (k = 4)	sklearn.cluster.KMeans
Обнаружение аномалий	Z-score, Isolation Forest	scipy.stats, sklearn.ensemble
Прогнозирование потока	Gradient Boosting Regressor	sklearn.ensemble, lag-признаки
Геовизуализация	Точечная карта по координатам WGS-84	matplotlib

Кластеризация методом K-Means [7] выполняется в пространстве четырёх признаков, рассчитанных на уровне станции: средний квартальный поток (avg_flow), коэффициент вариации потока (flow_cv), средний дисбаланс входа и выхода (avg_imbalance) и линейный тренд по годам (growth). Перед кластеризацией признаки стандартизируются (StandardScaler) для устранения масштабной несопоставимости. Оптимальное число кластеров определяется методом «локтя» по внутрикластерной сумме квадратов (inertia); по результатам анализа выбрано k = 4.

Для обнаружения аномалий применяются два независимых метода. Метод Z-оценки работает на уровне отдельной станции: для каждой записи вычисляется стандартизированное отклонение от среднего значения потока по данной станции; записи с $|z| > 2,5$ классифицируются как аномальные. Метод Isolation Forest [8] реализован в многомерном пространстве признаков [TotalPassengers, IncomingPassengers, OutgoingPassengers, imbalance], что позволяет выявлять аномалии, невидимые при маргинальном анализе. Уровень загрязнения (contamination) установлен равным 3 %.

Регрессионная модель краткосрочного прогнозирования строится на основе GradientBoostingRegressor (библиотека scikit-learn) с гиперпараметрами: 300 деревьев, глубина 4, скорость обучения 0,05. В качестве признаков используются лагированные значения потока (lag-1 и lag-4 квартала), календарные переменные (год, номер квартала) и индикаторы линии метро (one-hot-кодирование). Валидация проводится на хронологическом разбиении: все годы, кроме последнего — обучающая выборка; последний год — тестовая. Метрики качества: MAE, MAPE и sMAPE. В качестве базовой модели (бейзлайна) используется значение аналогичного квартала предыдущего года.

3. Результаты

3.1. Разведочный анализ

Собранный массив данных включает сведения о 15 линиях метрополитена, более 300 вестибюлях и свыше 240 уникальных станций; квартальный датасет насчитывает более 3 000 записей за 2021–2025 годы (рис. 1).



Рис. 1. Объём собранных данных портала data.mos.ru (разработано автором)

Квартальная динамика пассажиропотока (рис. 2) демонстрирует устойчивый рост после спада 2021–2022 годов: суммарный поток по сети восстановился до допандемийного уровня и продолжает увеличиваться. Выраженная сезонность сохраняется на всём периоде наблюдений: пик приходится на IV квартал, минимум — на I квартал.



Рис. 2. Квартальный пассажиропоток московского метро, 2021–2025 (разработано автором)

Анализ сезонности (рис. 3) подтверждает системный характер квартальных колебаний: IV квартал в среднем превышает годовое значение на 6.9 %, тогда как I квартал отстаёт на 7.4 %. Данный эффект объясняется ростом деловой активности в осенне-зимний период и снижением пассажиропотока в январе в связи с праздничными днями.

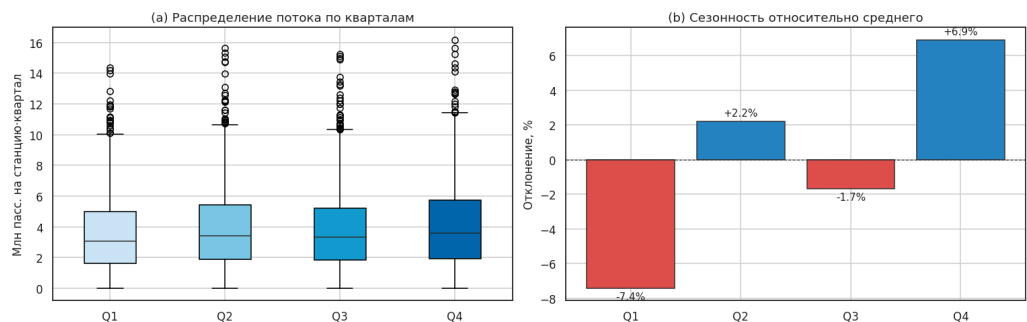


Рис. 3. Сезонность пассажиропотока: распределение по кварталам и отклонение от среднего (разработано автором)

Нагруженность линий существенно различается (рис. 4): три ключевые линии концентрируют основную долю совокупного пассажиропотока, тогда как периферийные и кольцевые маршруты значительно уступают им по абсолютным значениям.

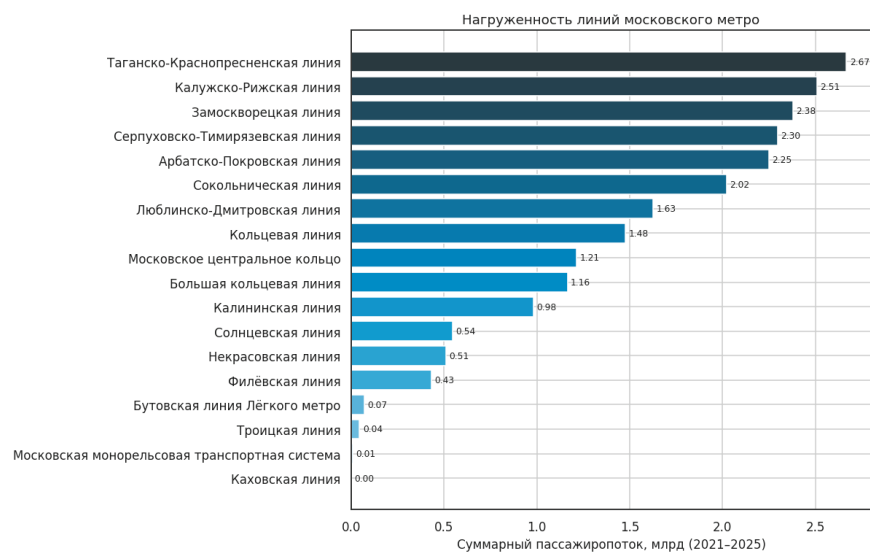


Рис. 4. Нагруженность линий московского метро, суммарный поток 2021–2025 (разработано автором)

Распределение нагрузки между станциями крайне неравномерно (рис. 5): коэффициент вариации превышает 71.3 %. Лидер по суммарному потоку — станция Комсомольская (381 млн пасс.), аутсайдер — станция Театральная (0.0 млн пасс.).

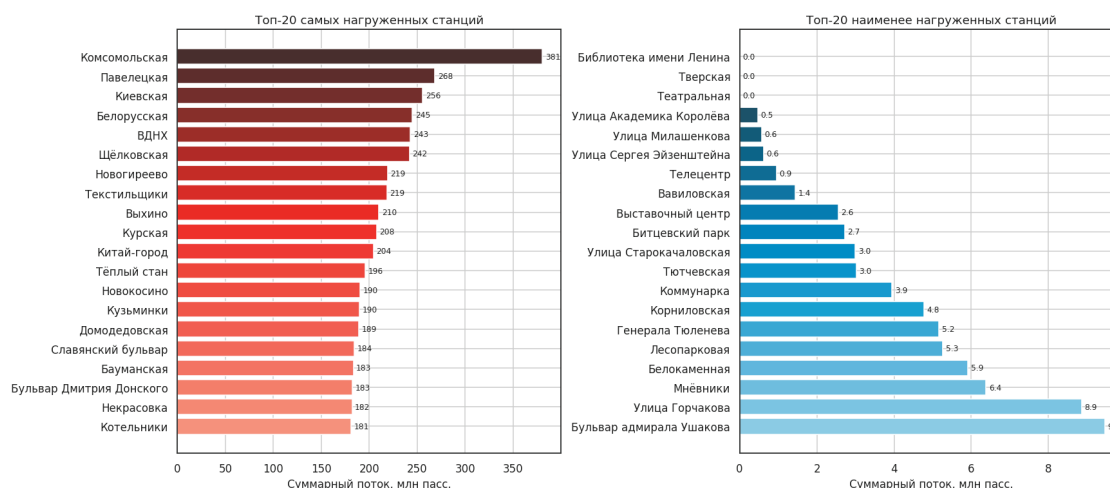


Рис. 5. Топ-20 наиболее и наименее нагруженных станций (разработано автором)

3.2. Кластеризация станций

Метод «локтя» (рис. 6) указал на оптимальное число кластеров $k = 4$. По профилю нагрузки выделены: крупные пересадочные узлы с высоким стабильным потоком, станции среднего пояса, периферийные станции с высокой вариативностью и новые станции с выраженным трендом роста (рис. 7). Географически кластеры соответствуют удалённости от центра: узловое станции сосредоточены в исторической части города, новые — на периферии.

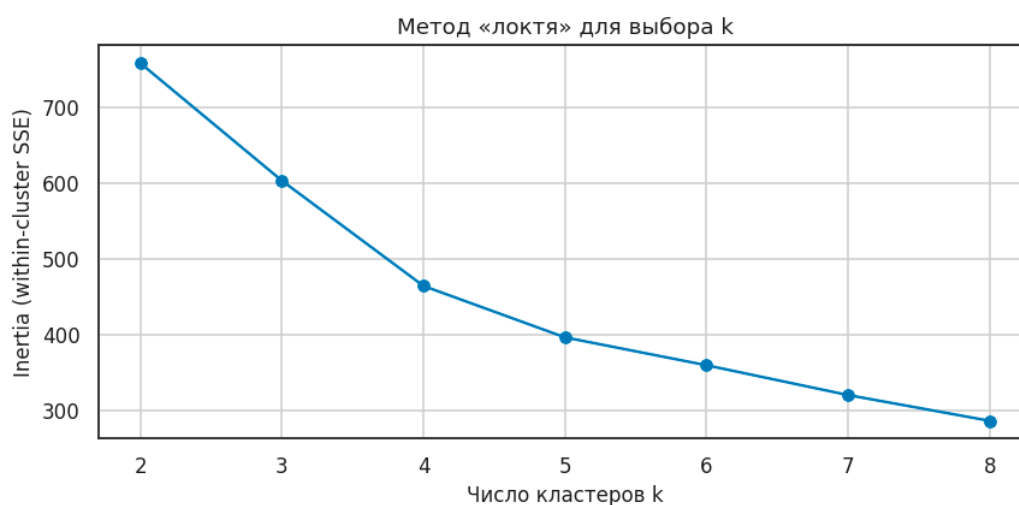


Рис. 6. Метод «локтя» для выбора числа кластеров K-Means (разработано автором)

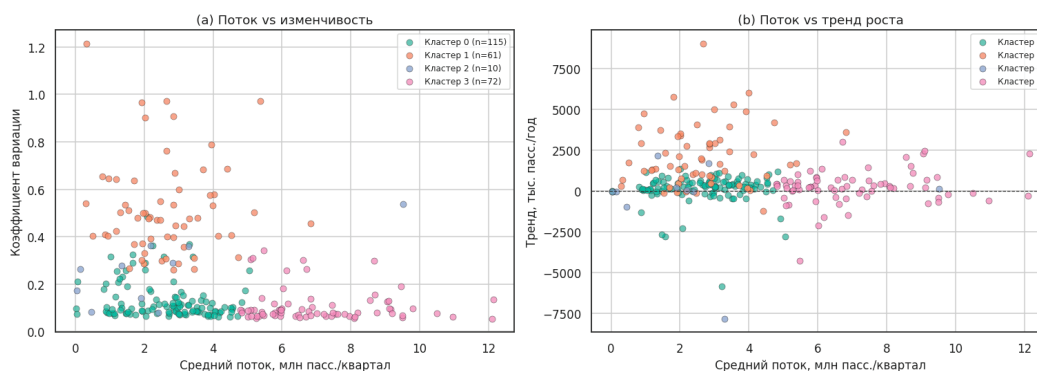


Рис. 7. Кластеризация станций: поток / изменчивость и поток / тренд (разработано автором)

3.3. Обнаружение аномалий

Метод Z-оценки (порог $|z| > 2,5$) выявил 57 аномальных записей (0.99 % выборки), Isolation Forest при уровне загрязнения 3 % — 173 записей (3.01 %). Наибольшая концентрация аномалий фиксируется в 2022 году (рис. 8), что соответствует нестабильному восстановлению пассажиропотока после пандемийного спада. Пересечение двух методов позволяет выделить наиболее достоверные случаи отклонений: Z-оценка чувствительна к резким выбросам на конкретной станции, Isolation Forest дополнительно улавливает многомерные аномалии по совокупности признаков.

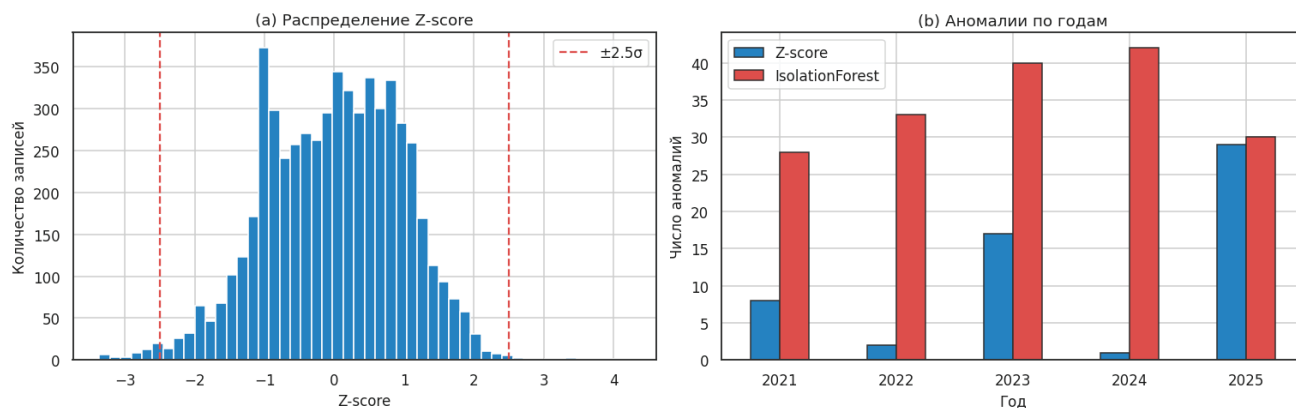


Рис. 8. Распределение Z-оценок и динамика аномалий по годам (разработано автором)

3.4. Прогнозирование пассажиропотока

Модель GradientBoostingRegressor на тестовой выборке последнего года достигла MAE = 907,140 пасс./квартал и sMAPE = 30.71 %, превзойдя бейзлайн «значение год назад» на +20.8 % по MAE (рис. 9). Наибольший вклад в прогноз вносят лагированные значения потока — предыдущего квартала и аналогичного квартала прошлого года — что подтверждает высокую инерционность и выраженную сезонность пассажиропотока. Линейные индикаторы и номер квартала дополнительно учитывают системные различия между маршрутами.

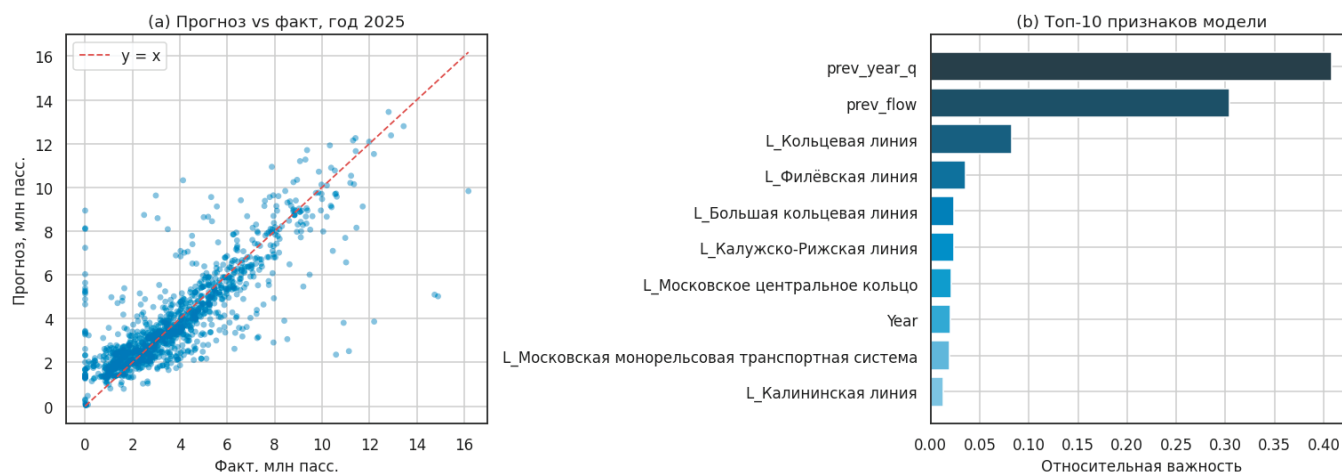


Рис. 9. Прогноз / факт и топ-10 признаков модели по важности (разработано автором)

3.5. Геовизуализация

Пространственное распределение нагрузки (рис. 10) демонстрирует радиально-кольцевую структуру московского метро: максимальные потоки сосредоточены в центре и вдоль основных диаметральных направлений. Цветовая шкала и размер маркеров пропорциональны суммарному пассажиропотоку за 2021–2025 годы, подписаны восемь наиболее загруженных станций.

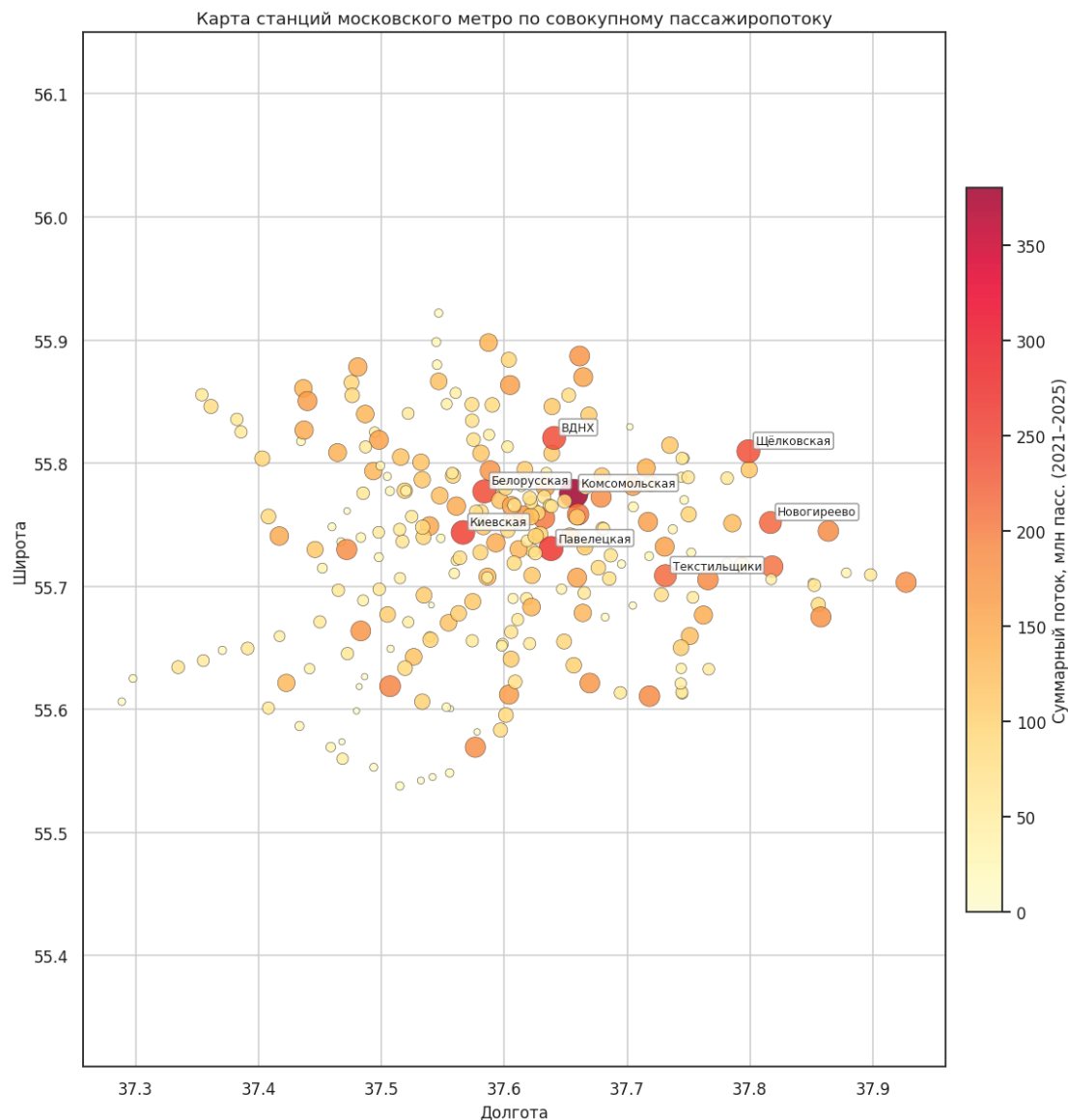


Рис. 10. Карта станций московского метро по суммарному пассажиропотоку

Заключение

В работе продемонстрирован полный воспроизводимый цикл анализа открытых транспортных данных: автоматизированный сбор через REST API портала открытых данных Правительства Москвы, нормализация GeoJSON-ответов, разведочный анализ, кластеризация, детекция аномалий

и краткосрочное прогнозирование. Совокупность разработанных модулей формирует основу системы мониторинга качества пассажирских перевозок: типология станций позволяет дифференцировать управленческие решения, детектор аномалий обеспечивает автоматическую сигнализацию о нетипичных периодах, а прогностическая модель даёт возможность планировать ресурсы с учётом ожидаемой нагрузки.

Литература:

1. Московский Метрополитен. — URL: <https://mosmetro.ru/>
2. Портал открытых данных Правительства Москвы. — URL: <https://data.mos.ru/>
3. Входы и выходы вестибюлей станций Московского метрополитена — URL: <https://data.mos.ru/opendata/624/>
4. Линии Московского метрополитена — URL: <https://data.mos.ru/opendata/2278/>
5. Пассажиропоток по станциям Московского метрополитена — URL: <https://data.mos.ru/opendata/62743/>
6. Python — URL: <https://www.python.org/downloads/>
7. Кластеризация: алгоритмы k-means и c-means — URL: <https://habr.com/ru/articles/67078/>
8. IsolationForest — URL <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.IsolationForest.html>

Разработка программного модуля учета рабочего времени сотрудников, интегрированного в PLM-систему T_FLEX

Бозюкова Лилия Сергеевна, студент;

Силантьев Михаил Васильевич, студент

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

В статье рассматривается разработка программного модуля для автоматизированного учета рабочего времени, интегрированного в отечественную PLM/ERP-систему T_FLEX. Приведены обоснование архитектуры и технологического стека (C#, WPF, MVVM), описание ключевых алгоритмов, результаты тестирования и опытной эксплуатации. Показано, что применение модуля сокращает трудозатраты делопроизводителей на 65 % и уменьшает долю учетных ошибок с 10 до менее, чем 0,5 %.

Ключевые слова: учет рабочего времени, табельный учет, PLM-система, T_FLEX, WPF, MVVM, автоматизация.

Введение

В соответствии со ст. 91 Трудового кодекса РФ работодатель обязан вести точный учет фактически отработанного времени. В организациях со сложной структурой эта задача традиционно решается ручным заполнением табелей на бумаге или в электронных таблицах, что приводит к значительным временным потерям (до 25–30 % рабочего времени делопроизводителей) и высокой вероятности ошибок (8–12 % записей) [1, 2]. Существующие на рынке программные продукты (Bitcor, LanAgent, Битрикс24, 1С:Зарплата и управление персоналом) либо не обеспечивают полноценной «бесшовной» интеграции с T_FLEX, либо избыточны по функциональности для делопроизводителей и длительны во внедрении [3]. В связи с этим актуальной является разработка специализированного программного модуля учета рабочего времени (ПМ УРВ), ориентированного на потребности конкретного предприятия и нативно интегрируемого в PLM-контур T_FLEX.

Основная часть

Концептуальная модель и архитектура. ПМ УРВ спроектирован как настольное приложение для операционной системы Windows, взаимодействующее с локальной базой данных и системой T_FLEX через REST API. Такая архитектура «толстого клиента» исключает зависимость от центрального веб-сервера, минимизирует сетевые задержки и повышает безопасность данных. Логика приложения построена в соответствии с паттерном MVVM (Model-View-ViewModel), что обеспечивает разделение ответственности, упрощает модульное тестирование и позволяет выполнять все операции с базой данных асинхронно, не блокируя графический интерфейс.

Ключевые алгоритмы. Функциональность ПМ УРВ реализована в виде нескольких основных алгоритмов. Рассмотрим наиболее важные из них.

Алгоритм загрузки табеля активируется при выборе подразделения и месяца. Он формирует полную структуру таблицы, проверяет наличие записей в базе данных

за выбранный период и, если месяц еще не открывался, автоматически генерирует ее с начальными значениями (часы = 0, пустой код явки/неявки, тип дня определяется по производственному календарю). Данные загружаются через Entity Framework Core и отображаются в интерфейсе с цветовой индикацией типов дней. Любые правки сначала накапливаются локально в ViewModel, а после команды сохранения проходят валидацию (диапазон часов 0–12, соответствие кода справочнику) и записываются в базу данных.

Пользовательский интерфейс. Интерфейс модуля выполнен в светлой нейтральной гамме с синими акцентами на ключевых элементах управления. Рабочее окно разделено на навигационную панель и область табеля. Навигационная панель содержит иерархический список подразделений предприятия и пункт настройки праздничных дней. Основная область (рис. 2) представляет собой таблицу, строки которой соответствуют сотрудникам, а столбцы — дням месяца. В ячейках отображаются коды учета (например, «Я» — явка, «В» — выходной, «П» — праздничный) и количество отработанных часов. Редактирование выполняется непосредственно в ячейках или через диалоговое окно. Для массовой работы предусмотрены кнопки «Копировать», «Изменить» и «Применить праздничные дни». В нижней части формы выводится сводная информация и кнопка синхронизации с T_FLEX.

Результаты

Опытная эксплуатация ПМ УРВ проводилась в отделе управления проектами АО «НТЦ ЭЛИНС» со штатом 20 сотрудников в течение апреля 2026 г. параллельно с традиционным ручным учетом. Сравнение показателей представлено на диаграмме (рис. 3). Среднее время формирования и выверки табеля сократилось с 4,0 до 1,4 часа (на 65 %). Доля учетных ошибок уменьшилась с 10 до менее 0,5 % (на 94 %). Синхронизация данных с системой T_FLEX, ранее требовавшая ручной выгрузки и конвертации файлов (около 25 минут), теперь выполняется по нажатию одной кнопки за несколько секунд, что полностью устранило двойной ввод. На основании этих резуль-

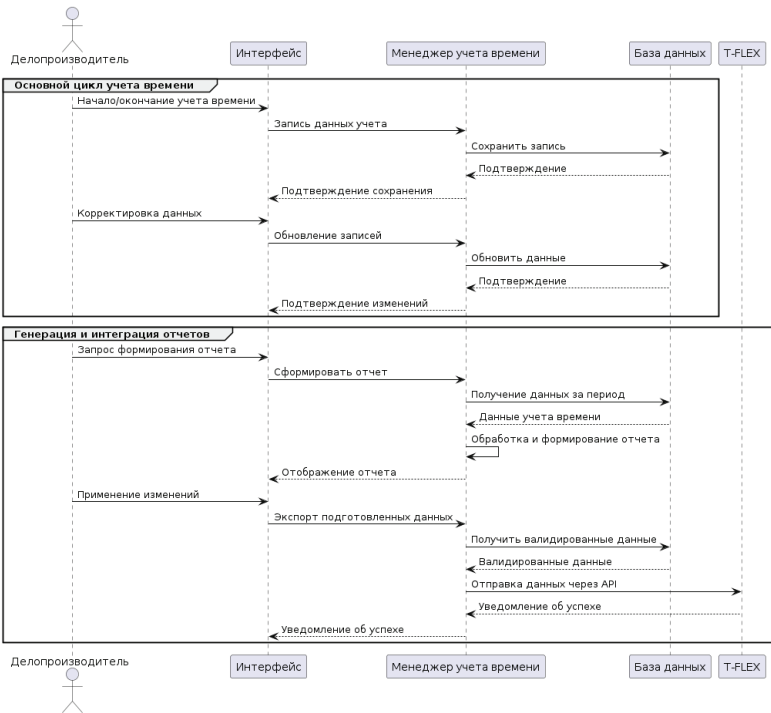


Рис. 1. Концептуальная Модель ПМ УРВ

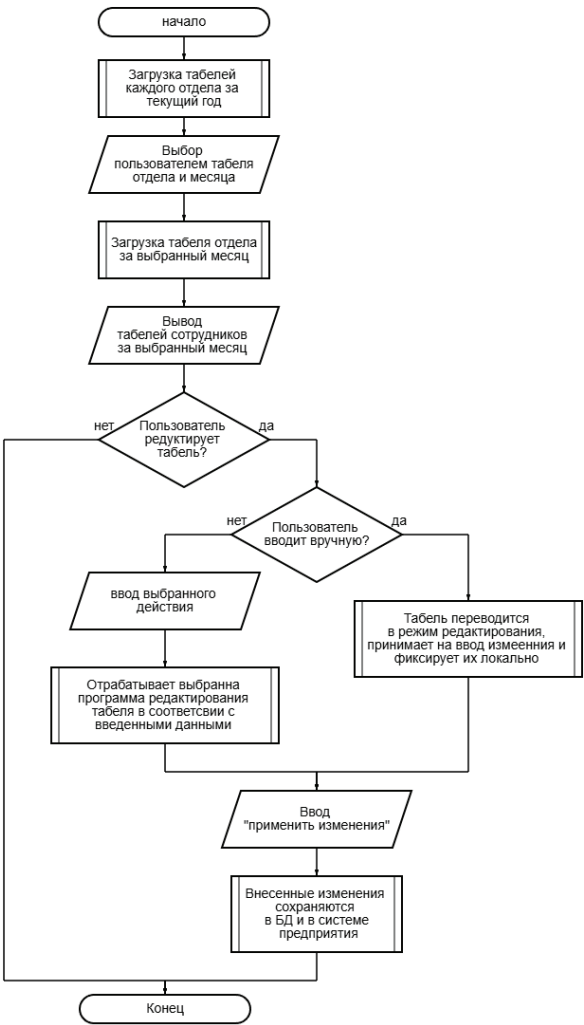


Рис. 2. Схема алгоритма ПМ УРВ

татов руководством предприятия принято решение о внедрении модуля в промышленную эксплуатацию во всех подразделениях с 1 июня 2026 г.

Заключение

Разработан программный модуль учета рабочего времени сотрудников, интегрированный в PLM-систему T_FLEX. Модуль обеспечивает полный цикл табельного учета от автоматического формирования структуры ме-

сяца до синхронизации с корпоративным контуром документооборота. Применение современных технологий C#, WPF и MVVM позволило создать эргономичный и производительный инструмент, а встроенные механизмы валидации и контроля — свести к минимуму ошибки. Опытная эксплуатация подтвердила сокращение трудозатрат делопроизводителей на 65 % и снижение доли ошибок на 94 %. Перспективы развития включают добавление мобильного клиента, интеграцию с системами контроля доступа и расширение аналитических возможностей.

Литература:

1. Грянина Е. А., Харитонов С. А. Секреты профессиональной работы с «1С:Зарплата и управление персоналом 8». Кадровый учёт и управление персоналом. — 2-е изд. — М.: 1С-Паблишинг, 2021. — 548 с.
2. Петцольд Ч. Windows Presentation Foundation: базовый курс / пер. с англ. — СПб.: Питер, 2008. — 944 с.
3. Нейгел К. C# 10 и .NET 6. Современная кроссплатформенная разработка / пер. с англ. — СПб.: Питер, 2023. — 896 с.

Artificial intelligence in education: current state and development prospects

Yermanova Moldir Kazykyzy, lecturer

West Kazakhstan State University named after Makhambet Utemisov (Oral, Kazakhstan)

This article examines the key areas of application of artificial intelligence (AI) in education. Based on an analysis of scientific studies, the main directions of AI use in the educational sphere are identified. Despite the growing interest in the application of AI in education, there is still insufficient understanding of its potential impact on the learning process and the management of educational institutions. This creates the need to analyze the prospects for the application of AI in education as a whole.

Particular attention is paid to personalized learning systems capable of adapting the educational process to the individual needs of students. The possibilities of intelligent assessment systems and their effectiveness in the automated evaluation of various types of tasks are considered. The role of AI in optimizing administrative processes in educational institutions is analyzed. The influence of AI technologies on the transformation of the teacher's role and the necessity of developing AI competencies among all participants in the educational process are also examined.

Key challenges in implementing AI in education are identified, including technical limitations, data privacy issues, and the insufficient level of AI literacy among teachers. The article emphasizes the importance of a balanced approach to integrating AI into education while preserving the leading role of humans in the educational process, as well as the need to develop AI competencies among all participants.

Keywords: educational technologies, artificial intelligence, AI in education, AI literacy, personalized education.

Funding

The study was supported by the scholarship program of the President of the Russian Federation for postgraduate students and adjuncts enrolled in full-time education in Russian educational institutions conducting scientific research within the framework of the priorities of scientific and technological development of the Russian Federation.

Introduction

Currently, artificial intelligence (AI) is rapidly penetrating all areas of society, including education. The implementation of such technologies opens new opportunities for personalizing and improving the efficiency of the learning process. As

noted by D. Gašević and colleagues, although research on AI applications in education has been conducted for a long time, the emergence and active development of systems such as ChatGPT and DALL-E have triggered a new wave of discussion within the pedagogical community.

According to M. Chassignol and colleagues, artificial intelligence can influence different components of the educational process: content, activities, outcomes, and communication between participants. A particular case of AI in education is represented by specialized educational systems. In the communicative context, AI development has progressed from early computer-based learning systems, which could provide feedback only after a final answer was submitted and could not offer intermediate hints, to intelligent tutoring systems (ITS).

Modern ITS are capable of solving tasks based on knowledge bases, automating some teacher functions such as task generation and feedback organization, and responding step by step during the student's problem-solving process. Examples include CodeCombat, where programming is taught through an increasingly complex interactive game, and Duolingo, where AI is used for natural language processing and assisting users in practicing communication and identifying speech errors.

To assess academic performance or identify learning difficulties among students, Educational Data Mining techniques may be used. These methods consider not only academic performance but also students' psychological characteristics. One of the key approaches enabling instruction based on the individual characteristics of each student—including learning style, academic achievement, interests, and health conditions—is personalization, where AI can significantly expand and automate the functionality of educational tools.

Digital technologies have already substantially transformed approaches to teaching and learning, information search and processing, and interpersonal communication. The emergence of numerous AI tools has expanded opportunities for the modernization of the educational sphere.

The purpose of this study is to systematize knowledge about the use of AI in education and identify the main trends, challenges, and prospects for its application. The study of AI applications in education is a relatively new area for both researchers and teachers, while AI technologies are gradually being integrated into key areas such as personalization and learning support for students, teaching assistance for educators, assessment, and administration.

Methodology

The literature review was conducted using leading scientific databases, including Web of Science, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, and eLibrary. Various combinations of keywords related to artificial intelligence and education were used in both Russian and English, including: education, educational technologies, artificial intelligence, AI in education, machine learning, AI literacy, intelligent tutoring systems, human-centered artificial intelligence, personalized education, natural language processing, automated assessment, AI for teaching and learning, management of educational pathways, and educational content generation.

Studies published between 2014 and 2024 were reviewed.

The following inclusion criteria were established:

- empirical and theoretical studies, as well as literature reviews;
- focus on the application of AI in educational contexts;
- publication in peer-reviewed journals or conference proceedings;
- publication in English or Russian.

The initial search identified more than 300 articles. After excluding studies that did not meet the criteria and removing duplicates, 19 articles remained in the final review.

Five main thematic areas were identified in the selected studies:

1. Personalized learning using AI;
2. Intelligent assessment systems;
3. AI in educational management;
4. Development of AI competencies among teachers and students;
5. Ethical aspects of AI application in education.

Application of Artificial Intelligence in Education

1. Personalized Learning Systems

One of the most promising areas of AI application in education is the development of personalized learning systems. These systems can adapt the educational process to the individual needs of each student. Such an approach makes it possible to optimize learning and improve educational outcomes.

The key operating principles of such systems include:

- analysis of student performance and behavior data to create an individual learning profile;
- adaptation of educational content and tasks according to the student's level of knowledge and learning pace;
- provision of personalized recommendations for more effective learning;
- automated feedback and assessment.

The effectiveness of such systems has been discussed in numerous studies. A. Bhutoria notes that AI is successfully used to meet individual learning needs, account for students' abilities and characteristics, and create optimized educational trajectories. AI makes it possible to expand and adapt educational content to specific learners and identify difficult topics in advance.

K. Karrenbauer and colleagues describe the development of an individual digital assistant for university students capable of recommending lectures based on students' interests and competencies, as well as analyzing and providing information about their strengths and weaknesses in learning strategies. Such assistants rely on extensive data, including academic reports, completed modules, and students' self-assessments.

Adaptive systems also make it possible to predict student performance. E. Costa and colleagues studied the effectiveness of AI-based educational data mining methods for predicting academic performance. The results showed that these methods can identify students who may face learning difficulties at an early stage and provide timely support.

L. Ph. Xuan and colleagues developed a model capable of predicting academic performance based on data from an interactive distance learning platform, including engagement during classes, time spent on assignments, and progress in other learning activities. The authors note that integrating predictive systems into educational environments can transform teaching methods and create a more informed and engaging learning environment.

Research literature most frequently presents examples of practical AI applications for personalized education in foreign language teaching. The specifics of language learning require

constant practice in writing, reading, and speaking skills. AI allows these processes to be partially delegated and automated.

A study on teaching English using an educational platform with natural language processing and machine learning functions identified three major advantages:

1. Improvement in academic performance and speaking skills through regular writing and speaking practice with a chatbot capable of maintaining dialogue and correcting mistakes;
2. Significant reduction in preparation time for teachers and students due to AI-assisted selection of educational tasks;
3. Increased student motivation through performance prediction and adaptive tasks.

Thus, personalized learning systems demonstrate several advantages in educational practice. They allow educators to:

1. Consider the student's current level of preparation and continuously adapt to it;
2. Reduce the time required to study material through adaptive tasks;
3. Provide students with opportunities to practice at a comfortable pace and receive explanations regarding their solutions.

As a result, the use of such systems can improve understanding of studied topics and reduce stress associated with learning complex material.

2. Intelligent Assessment Systems

Intelligent assessment systems, in which machine learning algorithms are used for automated grading, possess several advantages: they ensure objectivity, provide rapid results, and process large volumes of data.

Currently, automated processing of multiple-choice tests does not present significant difficulties. However, tasks requiring written or graphical responses—which better evaluate students' knowledge—create a substantial assessment burden for both humans and intelligent systems.

L. Tyack and colleagues studied the application of neural networks for automated scoring of graphical response tasks for 4th and 8th grade students. The accuracy of AI-generated scores corresponded to human scoring accuracy and, in some tasks, even surpassed human assessment results.

C. Ormerod and colleagues investigated the effectiveness of a system developed for assessing short written responses to mathematics and English tasks in grades 3–8 and 11. The system demonstrated high assessment accuracy in both subjects, and for English tasks its accuracy exceeded that of human experts.

In addition to correctness, the system also analyzes confidence in its own evaluation. If the system determines that a score may be inaccurate, the work is forwarded to a teacher for review.

Nevertheless, the use of AI for student assessment raises concerns among researchers. Scientists point to problems such as lack of human interaction, insufficient creativity in task design and assessment, difficulties in understanding context, the need to provide reliable preliminary data, and the possibility of system failures and logical errors.

Despite the significant potential of AI in this field, further research is necessary to overcome these contradictions.

3. Automation of Administrative Tasks in Educational Institutions Using AI

Artificial intelligence is increasingly applied to various administrative processes in educational institutions, including class scheduling, data analysis for decision-making, and the provision of personalized services.

As AI technologies continue to develop and expand their capabilities, demand for their use is also increasing. One-third of surveyed university teachers reported using AI to facilitate and optimize administrative tasks.

Delegating routine tasks to AI can assist in preparing accreditation documents, supporting student recruitment and admissions, and improving communication between administration and students.

For example, chatbots can provide students with answers regarding admissions, tuition payment, events, and other questions. This both accelerates and simplifies access to information for students and reduces the workload for administrative staff.

4. The Impact of Artificial Intelligence on Participants in the Educational Process

The integration of AI technologies significantly transforms the role of teachers in education. Educators increasingly act as coordinators of the learning process rather than solely as sources of information.

D. Lee and colleagues note that nearly half of the participants in their study used AI in teaching practice, most often to transform grading processes.

The development of AI also enables new formats of pedagogical interaction, such as immersive technologies and virtual characters that imitate human behavior and appearance to create interactive personalized learning environments.

At the same time, despite the growing role of AI, the human factor remains critically important in education. Researchers emphasize that AI cannot replace live communication between teacher and student, the real educational process, or become a substitute for mentors and research supervisors.

A balanced and thoughtful approach to AI implementation is necessary, where technologies complement rather than replace teachers and are aimed at improving the quality and accessibility of education.

In addition to transforming the teacher's role, AI also affects students. The rapid development of technology requires the formation of corresponding competencies among children and young people.

The accessibility and popularity of AI technologies allow even children to use them. However, students often do not understand the basic principles behind such technologies, including the possibility that AI may generate incorrect information that requires verification.

Therefore, it is important to develop AI literacy from an early age in order to cultivate both effective AI usage skills and critical attitudes toward AI-generated results.

Researchers also note that AI use in education contributes to the development of digital culture, critical thinking, and creativity among students, while stimulating their professional potential through interaction with technologies such as big data and the Internet of Things.

Challenges of Implementing AI in Education

The implementation of AI in education raises several important issues.

Given the increasing popularity of AI technologies in personalized education, technical limitations must be considered. Personalization and feedback require continuous processing of large amounts of information, which demands significant computing power.

In addition to technical limitations, the collection and analysis of large amounts of students' personal data raise concerns regarding confidentiality and privacy.

At the same time, there is a need to create open datasets for training and testing new AI models. Therefore, reliable information protection methods and clear rules for data collection, storage, and use are essential.

Another challenge is the insufficient level of AI literacy among teachers. In a survey of 194 educators, a significant proportion reported low levels of AI knowledge.

However, approximately half of the respondents expressed willingness to devote time to studying and using AI technologies in order to support students in the learning process.

Teachers recognize the risks associated with integrating AI into education, yet they remain ready to adopt such technologies because the potential benefits outweigh possible threats.

Researchers emphasize that professional development programs in AI should adopt comprehensive approaches that combine training with discussion of real-life cases.

There is also a shortage of regulatory documents and methodological materials that could assist teachers in integrating AI technologies into educational practice.

It is necessary to rethink teaching methods in light of the interaction between humans and artificial intelligence and identify the most effective approaches that take into account both the advantages and disadvantages of AI.

Conclusion

The literature analysis revealed several key directions in the development of AI applications in education.

One of the most promising areas is the personalization of learning. AI makes it possible to adapt the educational process to the abilities of each student. Research demonstrates significant progress in the development and implementation of adaptive learning systems capable of considering individual learning pace and style.

Automation of routine tasks is another important trend, where AI can take over many administrative and assessment functions, freeing teachers' time for more creative work.

AI-based systems for automated assignment grading and academic performance monitoring are actively being developed.

Finally, there is an increasing need to develop skills for interacting with AI systems among both students and teachers, as well as to cultivate critical attitudes toward them, emphasizing the importance of AI literacy.

Thus, artificial intelligence is becoming an increasingly significant factor in the transformation of educational systems. Research shows that AI can improve learning efficiency and make education more accessible. However, its implementation must take ethical aspects into account while preserving the central role of humans in the educational process.

References:

1. Bogachevsky, V.M., & Kuprina, T.V. (2024). The Use of ChatGPT in Teaching English Grammar. *Business. Education. Law*, 2(67), 306–313.
2. Kotlyarova, I.O. (2022). Artificial Intelligence Technologies in Education. *Bulletin of South Ural State University. Series: Education. Educational Sciences*, 14(3), 69–82.
3. Rezaev, A.V., & Tregubova, N.D. (2023). ChatGPT and Artificial Intelligence in Universities: What Future Should We Expect? *Higher Education in Russia*, 32(6), 19–37.
4. Starodubtsev, V.A., & Neradovskaya, O.R. (2024). Artificial Intelligence and Immersive Technologies in Higher Pedagogical Education. *Open Education*, 28(2), 13–23.
5. Sun, Y. (2023). Research on the Application of Artificial Intelligence in Teaching English at Chinese Universities. *Scientific and Methodological Electronic Journal "Concept"*, 12, 88–103.
6. Titova, S.V. (2024). Intelligent Tutoring Systems for Personalization and Adaptation of Language Courses. *Bulletin of Moscow University. Series 19: Linguistics and Intercultural Communication*, 27(4), 84–99.
7. Shobonov, N.A., Bulaeva, M.N., & Zinovieva, S. (2023). Artificial Intelligence in Education. *Problems of Modern Pedagogical Education*, 79(4), 288–290.
8. Chassignol, M., et al. (2018). Artificial Intelligence Trends in Education: A Narrative Overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16–24.
9. Ormerod, C., et al. (2023). Automated Short Answer Scoring Using an Ensemble of Neural Networks and Latent Semantic Analysis Classifiers. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33, 467–496.

10. Baidoo-Anu, D., & Ansah, L.O. (2023). Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of ChatGPT in Promoting Teaching and Learning. *Journal of AI*, 7(1), 52–62.
11. Beege, M., Hug, C., & Nerb, J. (2024). AI in STEM Education: The Relationship Between Teacher Perceptions and ChatGPT Use. *Computers in Human Behavior Reports*, 16, 100494.
12. Bhutoria, A. (2022). Personalized Education and Artificial Intelligence in the United States, China, and India: A Systematic Review Using a Human-In-The-Loop Model. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100068.
13. Karrenbauer, C., et al. (2023). Design, Development, and Evaluation of an Individual Digital Study Assistant for Higher Education Students. *Educational Technology Research and Development*, 71(5), 2047–2071.
14. DiCerbo, K. (2020). Assessment for Learning with Diverse Learners in a Digital World. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 39(3), 90–93.
15. Du, J., & Daniel, B.K. (2024). Transforming Language Education: A Systematic Review of AI-Powered Chatbots for English as a Foreign Language Speaking Practice. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100230.
16. Xuan, L.Ph., et al. (2024). Enhancing Educational Evaluation Through Predictive Student Assessment Modeling. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100244.
17. Ding, A.-C.E., et al. (2024). Enhancing Teacher AI Literacy and Integration Through Different Types of Cases in Teacher Professional Development. *Computers and Education Open*, 6, 100178.
18. Costa, E.B., et al. (2017). Evaluating the Effectiveness of Educational Data Mining Techniques for Early Prediction of Students' Academic Failure in Introductory Programming Courses. *Computers in Human Behavior*, 73, 247–256.
19. Gašević, D., Siemens, G., & Sadiq, S. (2023). Empowering Learners for the Age of Artificial Intelligence. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4(4), 100130.
20. Ma, W., et al. (2014). Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106(4), 901–918.
21. Karam, O. (2021). The Role of Computer Games in Teaching Object-Oriented Programming in High Schools — CodeCombat as a Game Approach. *WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education*, 18, 37–46.
22. König, C.M., Karrenbauer, C., & Breitner, M.H. (2024). Development Guidelines for Individual Digital Study Assistants in Higher Education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 9.
23. Lin, C.-C., Huang, A., & Lu, O. (2023). Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Systems Toward Sustainable Education: A Systematic Review. *Smart Learning Environments*, 10(1), 41.
24. Memarian, B. & Doleck, T. (2024) A review of assessment for learning with artificial intelligence. *Computers in Human Behavior: Artificial Humans*. 2 (1), 100040. Available from: doi:10.1016/j.chbah.2023.100040.
25. Ormerod, C., Lottridge, S. & Harris, A.E. et al. (2023) Automated Short Answer Scoring Using an Ensemble of Neural Networks and Latent Semantic Analysis Classifiers. *International Journal Artificial Intelligence in Education*. 33, 467–496. Available from: doi:10.1007/s40593-022-00294-2.
26. Qi Xia, Chiu, T. C. T., Zhou, X., Chai, C.S. & Cheng, M. (2023) Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education Artificial Intelligence*. 4, 100118. Available from: doi:10.1016/j.caeai.2022.100118.
27. Rezaev, A.V. & Tregubova, N.D. (2023) ChatGPT and AI in the Universities: An Introduction to the Near Future. *Higher Education in Russia*. 32 (6), 19–37. Available from: doi:10.31992/0869-3617-2023-32-6-19-37. (In Russian)
28. Shobonov, N.A., Bulaeva, M.N. & Zinovieva, S. (2023) Artificial Intelligence in Education. *Problems of Modern Pedagogical Education*. (79–4), 288–290. (In Russian)
29. Starodubtsev, V.A. & Neradovskaya, O.R. (2024) Artificial Intelligence and Immersive Technologies in Higher Pedagogical Education. *Open Education*. 28 (2), 13–23. Available from: doi:10.21686/1818-4243-2024-2-13-23. (In Russian)
30. Su, J., Tsz Kit Ng, D. & Kai Wah Chu, S. (2023) Artificial Intelligence (AI) Literacy in Early Childhood Education: The Challenges and Opportunities. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 4, 100124. Available from: doi:10.1016/j.caeai.2023.100124.
31. Sun, Y. (2023) Research of the usage of artificial intelligence in teaching English at a university in China. *Scientific-Methodological Electronic Journal "Koncept"*. (12), 88–103. Available from: doi:10.24412/2304-120X-2023-11128. (In Russian)
32. Titova, S.V. (2024) Intelligent learning systems for personalizing and adapting language courses. *Lomonosov Linguistics and Intercultural Communication Journal*. 27 (4), 84–99. (In Russian)
33. Tyack, L., Khorramdel, L. & von Davier, M. (2024) Using convolutional neural networks to automatically score eight TIMSS 2019 graphical response items. *Computers and Education: Artificial Intelligence*. 6, 100249. Available from: doi:10.1016/j.caeai.2024.100249.
34. Vandewaetere, M., Desmet, P. & Clarebout, G. (2011) The contribution of learner characteristics in the development of computer based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior*. 27 (1), 118–130. Available from: doi:10.1016/j.chb.2010.07.038.

35. VanLehn, K., Jordan, P.W. & Rosé, C.P. et al. (2002) The Architecture of Why2-Atlas: A Coach for Qualitative Physics Essay Writing. In: Cerri, S.A., Gouardères, G. & Paraguaçu, F. (eds.) Intelligent Tutoring Systems. ITS 2002. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 2363. Berlin, pp. 158–167. Available from: doi:10.1007/3-540-47987-2_20.
36. Xuan, L.Ph., Mai, Ph.Q.H., Nguyen, Q.H., Pham, T., Nguyen, T. H. H. & Nguyen, T.H. (2024) Enhancing educational evaluation through predictive student assessment modeling. Computers and Education: Artificial Intelligence. 6, 100244. Available from: doi:10.1016/j.caeai.2024.100244.

Автоматизированное UI-тестирование: понятие, принципы и инструменты

Жарков Никита Александрович, студент

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

В статье рассматриваются основные понятия и подходы к автоматизированному тестированию пользовательского интерфейса (UI) программных продуктов. Описаны принципы работы автоматизированных UI-тестов, их место в процессе разработки программного обеспечения, а также типовые задачи, решаемые с их помощью. Приведён обзор популярных инструментов и фреймворков (Selenium WebDriver, Cypress, Playwright). Проанализированы преимущества и ограничения автоматизированного UI-тестирования, а также типичные сложности, возникающие при его внедрении.

Введение

Современная разработка программного обеспечения немыслима без обеспечения его качества. Одним из наиболее эффективных способов выявления дефектов является тестирование — процесс проверки соответствия поведения программы ожидаемым результатам. Особое место в иерархии тестирования занимает проверка пользовательского интерфейса (UI), поскольку именно через UI конечный пользователь взаимодействует с продуктом.

Ручное UI-тестирование, хотя и остаётся востребованным, имеет существенные недостатки: оно трудоёмко, медленно, подвержено человеческим ошибкам и плохо масштабируется. В условиях современных Agile-и DevOps-практик, предполагающих частые выпуски новых версий, возникает объективная потребность в автоматизации проверок.

Цель данной статьи — дать общее представление об автоматизированном UI-тестировании: раскрыть его сущность, описать принципы работы, обзор инструментов и ключевые проблемы, с которыми сталкиваются специалисты.

Понятие автоматизированного UI-тестирования

Автоматизированное тестирование пользовательского интерфейса — это процесс проверки графического интерфейса приложения с помощью специальных программных скриптов, которые эмулируют действия реального пользователя: клики мыши, ввод текста, навигацию по страницам, отправку форм и т. д. Результаты этих действий автоматически сравниваются с эталонными, после чего формируется отчёт о прохождении теста (успешно или с ошибками).

Такой подход позволяет многократно воспроизводить одни и те же тестовые сценарии без участия человека, что особенно ценно при регрессионном тестировании — проверке, что новые изменения в коде не сломали уже работавшую функциональность.

Как работает автоматизированное UI-тестирование

Типовой процесс автоматизации UI можно представить в виде последовательности шагов:

1. Выбор инструмента автоматизации. На этом этапе определяются фреймворки и библиотеки, которые будут использоваться для написания тестов (например, Selenium WebDriver, Cypress, Playwright).
2. Написание тестового скрипта. Инженер пишет код, который описывает последовательность действий: найти элемент на странице, кликнуть по нему, ввести текст, дождаться появления результата, проверить содержимое.
3. Идентификация элементов. Ключевая задача — корректно находить элементы интерфейса в DOM-структуре веб-страницы с помощью локаторов (по ID, CSS-классам, XPath, тексту ссылки и т. д.).
4. Эмуляция действий. Скрипт выполняет действия, аналогичные реальному пользователю: нажатия, ввод данных, скроллинг, наведение курсора.
5. Верификация (проверка). После выполнения действий скрипт сравнивает фактическое состояние интерфейса (текст, видимость элемента, значение атрибута) с ожидаемым.
6. Формирование отчёта. Результаты выполнения (какие тесты прошли успешно, какие упали, с какими ошибками) записываются в лог или отображаются в тестовом фреймворке.

Инструменты автоматизированного UI-тестирования

На рынке существует несколько десятков инструментов для автоматизации UI. Наиболее популярные из них:

- Selenium WebDriver — де-факто стандарт индустрии. Поддерживает все основные браузеры и языки программирования. Позволяет создавать сложные распределённые тестовые сценарии, но требует от инженера достаточно высокой квалификации [1].

- Cypress — современный фреймворк, ориентированный на тестирование веб-приложений в среде разработчика. Отличается простотой настройки, удобным интерфейсом отладки и высокой скоростью выполнения. Работает только с JavaScript/TypeScript и поддерживает браузеры на движке Chromium [2].

- Playwright — относительно новый инструмент от компании Microsoft, позволяющий автоматизировать не только Chromium, но и Firefox, и Safari. Предоставляет удобный API для работы с iframe, вкладками, сетью, а также встроенные механизмы ожиданий, что снижает количество «мигающих» (flaky) тестов [3].

- Puppeteer — библиотека от Google для управления headless-браузером Chrome/Chromium. Часто используется для скрейпинга и генерации скриншотов, но также применима и для тестирования [4].

Преимущества автоматизированного UI-тестирования

Автоматизация приносит следующие выгоды:

- Скорость выполнения. Автотесты работают значительно быстрее ручного тестирования (особенно регрессионного).

- Воспроизводимость. Тест всегда выполняется одинаково, что исключает ошибки, связанные с усталостью или невнимательностью тестировщика.

- Возможность интеграции в CI/CD. Автотесты можно запускать автоматически при каждом изменении кода, что позволяет обнаруживать дефекты на ранних стадиях.

- Масштабируемость. Один и тот же набор тестов можно прогонять на разных конфигурациях (браузеры, разрешения экрана, операционные системы).

Литература:

1. Selenium WebDriver Official Documentation. — Текст: электронный // Selenium: [сайт]. — URL: <https://www.selenium.dev/documentation> (дата обращения: 14.05.2026).
2. Cypress Documentation. — Текст: электронный // Cypress: [сайт]. — URL: <https://docs.cypress.io/> (дата обращения: 14.05.2026).
3. Playwright Documentation. — Текст: электронный // Playwright: [сайт]. — URL: <https://playwright.dev/docs/intro> (дата обращения: 14.05.2026).
4. Puppeteer Introduction. — Текст: электронный // Puppeteer: [сайт]. — URL: <https://pptr.dev/category/introduction> (дата обращения: 14.05.2026).
5. Glenford, J. M. The Art of Software Testing / J. M. Glenford. — Second Edition. — New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004. — 255 с. — Текст: непосредственный.

Ограничения и сложности

Несмотря на очевидные плюсы, автоматизированное UI-тестирование имеет ряд недостатков и подводных камней:

- Высокий порог входа. Для написания качественных автотестов требуются навыки программирования, понимание архитектуры веб-приложений, знание фреймворков.

- Нестабильность (flaky-тесты). UI-тесты часто зависят от таймингов, асинхронной загрузки данных, анимации. Это может приводить к тому, что тест падает без реальной ошибки в приложении.

- Затраты на поддержку. При изменении интерфейса (например, переименовании CSS-класса или изменении структуры страницы) автотесты приходится обновлять, что требует дополнительных усилий.

- Неполнота проверок. Автотесты проверяют только то, что явно запрограммировано. Неожиданное поведение, отсутствие визуальных артефактов (например, смещение кнопки на 1 пиксель) остаются за рамками автоматической проверки.

Заключение

Автоматизированное UI-тестирование является неотъемлемой частью современного процесса разработки качественного программного обеспечения. Оно позволяет значительно ускорить регрессионные проверки, повысить их надёжность и интегрировать тестирование в конвейеры непрерывной поставки.

Вместе с тем автоматизация UI — это нетривиальная задача, требующая квалифицированных специалистов, продуманной стратегии и постоянного сопровождения тестов. Выбор конкретного инструмента зависит от многих факторов: стека технологий приложения, квалификации команды, требований к кросс-браузерности и интеграции с другими системами [5].

Понимание базовых принципов, рассмотренных в данной статье, является необходимым фундаментом для дальнейшего изучения и практического применения автоматизированного UI-тестирования.

Сравнительный анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения для 4D-моделирования в строительстве

Ибрагимова Алина Аптиевна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье проведён сравнительный анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения для 4D-моделирования в строительстве. Исследование учитывает нормативную базу Российской Федерации в области ТИМ, требования к обмену данными и задачу импортозамещения программного обеспечения. Сопоставлены Autodesk Navisworks, Bentley SYNCHRO 4D, Renga, nanoCAD BIM Строительство и Pilot-BIM по восьми критериям: 4D-визуализация, совместимость форматов, локализация, нормативная применимость, стоимость, производительность, интеграция с календарно-сетевым планированием и наличие в Едином реестре российского ПО. Выявлено, что зарубежные решения сильнее по специализированной 4D-симуляции, а отечественные продукты — по нормативной и институциональной применимости в российских проектах.

Ключевые слова: 4D-моделирование, BIM, ТИМ, IFC, среда общих данных, календарно-сетевое планирование, импортозамещение программного обеспечения.

Comparative analysis of domestic and foreign software for 4D-modeling in construction

The article compares domestic and foreign software for 4D modelling in construction. The study considers Russian regulations on information modelling technologies, data exchange requirements and software import substitution. Autodesk Navisworks, Bentley SYNCHRO 4D, Renga, nanoCAD BIM Construction and Pilot-BIM are assessed by eight criteria: 4D visualisation, format compatibility, localisation, regulatory applicability, cost, performance, scheduling integration and inclusion in the Russian software register. The results show stronger specialised 4D simulation functionality in foreign products and higher regulatory applicability of domestic products in Russian projects.

Keywords: 4D modelling, BIM, information modelling technologies, IFC, common data environment, construction scheduling, software import substitution.

Введение

Цифровизация строительства в Российской Федерации развивается в условиях нормативного закрепления технологий информационного моделирования. Постановление Правительства РФ № 331 устанавливает случаи обязательного формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства [1], а Постановление № 1431 определяет правила её формирования, состав сведений и требования к электронным документам [2]. Технический контур требований дополняют ГОСТ Р 10.0.02–2019/ИСО 16739–1:2018, СП 333.1325800.2020, СП 328.1325800.2020 и приказ Минстроя России № 783/пр [3; 4; 5; 6].

На этом фоне усилилась задача импортозамещения программного обеспечения. Для 4D-моделирования она особенно сложна, поскольку данный функционал требует не только BIM/ТИМ-модели, но и связи с календарно-сетевым графиком, визуализации последовательности строительно-монтажных работ и обмена данными в среде общих данных [7; 10].

Цель исследования — провести сравнительный анализ отечественного и зарубежного программного обеспечения для 4D-моделирования в строительстве с учётом российской нормативной базы. Для достижения цели си-

стематизированы нормативные и научные источники, выделены критерии оценки, сопоставлены Autodesk Navisworks, Bentley SYNCHRO 4D, Renga, nanoCAD BIM Строительство и Pilot-BIM, а также определены направления развития отечественного 4D-инструментария [19; 20; 21; 22; 23].

Обзор литературы

Зарубежные исследования рассматривают 4D BIM как инструмент управления технологической последовательностью работ, ресурсами и рисками нарушения сроков. В работах М. Шейхошкар и соавторов и Дж. Сингха, Дж. Ченга, Ч. Анумбы описаны подходы к автоматизации производственных сценариев и оптимизации графиков на основе модели [14; 18]. Исследования А. Така и Л. Хуана показывают применение 4D-моделей для координации строительной техники, логистики и монтажа сборных конструкций [13; 15]. Н. Цзэн, Я. Лю и М. Кёниг связывают 4D BIM с упреждающим планированием и ранним выявлением сбоев в цепях поставок [17].

В российской литературе акцент чаще делается на условиях внедрения ТИМ и методиках календарно-сетевого планирования. С. В. Бовтеев фиксирует ограниченность массового применения 4D-моделирования в оте-

чественной практике [7], В. А. Ундозеров рассматривает визуализацию календарно-сетевых планов средствами информационного моделирования [10], а И. Л. Киевский и соавторы анализируют организационные механизмы внедрения ТИМ и формирование центров компетенций [11; 12]. Обзор показывает, что сравнение конкретных программных продуктов с учётом российских нормативов, IFC-обмена и импортозамещения требует самостоятельного исследования.

Методология

Основной метод исследования — сравнительный анализ программных продуктов по функциональным и инфраструктурным критериям. Выборка включает решения разного класса: Autodesk Navisworks и Bentley SYNCHRO 4D ориентированы на агрегирование моделей и 4D-симуляцию; Renga и nanoCAD BIM Строительство — на авторское BIM/ТИМ-проектирование; Pilot-BIM — на функции среды общих данных и работу с консолидированной моделью [19; 20; 21; 22; 23].

Оценка по критериям K1-K7 проводится по пяти-балльной шкале: 1 балл — минимальная реализация функции; 3 балла — базовая реализация; 5 баллов — расширенная реализация. Критерий K8 оценивается бинарно: 5 баллов при наличии продукта в Едином реестре

российского ПО и 0 баллов при отсутствии. Итоговая оценка рассчитывается по формуле

$$S = \sum w_i \cdot x_i, (1)$$

где x_i — балльная оценка, w_i — вес критерия, сумма весов равна 1,00.

Если функция не подтверждена открытой документацией, она обозначается как «н/в» и при расчёте принимается равной нулю. Это ограничение делает методику консервативной: итоговый балл отражает не только фактическую функциональность, но и степень верифицируемости сведений. Источниками оценки служат нормативные документы [1; 2; 3; 4; 5; 6], международные стандарты [24; 25; 26], материалы разработчиков [19; 20; 21; 22; 23] и научные публикации по 4D BIM [7; 10; 13; 14; 15; 17; 18].

Критерии сравнительного анализа

Критерии выбраны с учётом предмета исследования и условий российского рынка. Наибольший вес присвоен 4D-визуализации, совместимости форматов, соответствию нормативам РФ и наличию в Едином реестре российского ПО. Локализация, производительность и интеграция с системами управления проектами имеют средний вес. Стоимость лицензии учитывается с меньшим весом, поскольку коммерческие условия чаще изменяются и не всегда доступны в сопоставимом виде.

Таблица 1. Критерии и весовые коэффициенты сравнительного анализа

№	Критерий	Вес, %	Шкала	Обоснование
1	Функциональность 4D-визуализации	20	1–5	Профильный функционал
2	Совместимость форматов (IFC, RVT, NWD, DWG)	15	1–5	Открытый обмен данными
3	Локализация и русскоязычная поддержка	10	1–5	Применимость в РФ
4	Соответствие нормативам РФ	15	1–5	Связь с НПА и СП
5	Стоимость лицензии и модель распространения	5	1–5	Коммерческий фактор
6	Производительность на крупных моделях	10	1–5	Работа с консолидированными моделями
7	Интеграция с системами управления проектами	10	1–5	Импорт КСГ
8	Наличие в Едином реестре российского ПО	15	0/5	Институциональный критерий
	Итого	100		

Примечание: K8 оценивается бинарно; остальные критерии — по шкале 1–5 баллов.

Сравнительный анализ программного обеспечения

Autodesk Navisworks имеет развитый функционал агрегирования моделей, проверки коллизий и 4D-симуляции через TimeLiner, который позволяет связывать элементы модели с задачами календарно-сетевого графика [19]. Bentley SYNCHRO 4D является специализированным решением для цифрового сопровождения строительства и работы с 4D-графиками [20]. Оба продукта получают высокие оценки по профильным критериям K1 и K7, но теряют итоговый балл из-за отсутствия в российском реестре ПО и ограниченной проверяемости локальной нормативной применимости.

Renga и nanoCAD BIM Строительство представляют отечественные инструменты авторского BIM/ТИМ-проектирования. Их сильные стороны — русскоязычная среда, ориентация на отечественную нормативно-техническую документацию, поддержка IFC/DWG-обмена и применимость в импортонезависимом программном контуре [21; 22]. При этом специализированная 4D-симуляция, сопоставимая с TimeLiner или SYNCHRO 4D, в открытых материалах этих продуктов явно не специфицирована.

Pilot-BIM относится к классу среды общих данных. Продукт обеспечивает сборку консолидированной модели, ведение версий, проверку коллизий и организацию проектной

информации на основе IFC [23]. Поэтому его следует рассматривать не как прямую замену 4D-симулятора, а как ин-

фраструктурный элемент контура управления BIM/ТИМ-данными. Сводные оценки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сводная балльная оценка программных продуктов

Продукт	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	S
Autodesk Navisworks	5	5	н/в	н/в	н/в	4	5	0	2,65
Bentley SYNCHRO 4D	5	4	н/в	н/в	н/в	4	5	0	2,50
Renga	н/в	4	5	4	5	3	н/в	5	3,30
nanoCAD BIM Строительство	н/в	4	5	4	4	3	н/в	5	3,20
Pilot-BIM	н/в	5	5	4	4	5	3	5	3,90

Примечание: «н/в» — данные не верифицированы в открытых источниках; при расчёте S значение принято равным 0.

Результаты анализа

Расчёт даёт следующее ранжирование: Pilot-BIM — 3,90; Renga — 3,30; nanoCAD BIM Строительство — 3,20; Autodesk Navisworks — 2,65; Bentley SYNCHRO 4D — 2,50. Этот результат не означает полного функционального превосходства отечественных решений в сегменте 4D-симуляции. Он отражает выбранную систему весов, где значительную роль играют нормативная применимость, локализация и включение в российский программный контур.

Зарубежные решения сохраняют преимущество в специализированном 4D-функционале: документация Navisworks и SYNCHRO 4D подтверждает связь модели с графиком, симуляцию строительных процессов и интеграцию с планировщиками [19; 20]. Отечественные решения сильнее по критериям российской применимости, но их слабым местом остаётся недостаточно раскрытая нативная 4D-симуляция.

Практический вывод состоит в том, что импортозамещение 4D-моделирования должно строиться не как механическая замена одного зарубежного продукта одним отечественным аналогом, а как формирование связки: авторская BIM/ТИМ-система, среда общих данных, открытый IFC-обмен, календарно-сетевое планирование и специализированный инструмент 4D-симуляции.

Литература:

1. Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства: Постановление Правительства Рос. Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 (с изм. и доп.). [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026> (дата обращения: 28.04.2026).
2. Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов: Постановление Правительства Рос. Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/74673983/> (дата обращения: 28.04.2026).

Именно интеграция этих компонентов определяет пригодность программного контура для управления сроками строительства.

Заключение

В статье выполнен сравнительный анализ пяти программных продуктов для 4D-моделирования в строительстве. Сформирована восьмикритериальная методика оценки, учитывающая профильную функциональность 4D-визуализации, совместимость форматов, локализацию, нормативную применимость, стоимость, производительность, интеграцию с календарно-сетевым планированием и наличие в Едином реестре российского ПО.

Установлено, что Autodesk Navisworks и Bentley SYNCHRO 4D обладают наиболее выраженным специализированным функционалом 4D-симуляции. Renga и nanoCAD BIM Строительство целесообразно рассматривать как отечественные средства авторского BIM/ТИМ-проектирования, а Pilot-BIM — как среду общих данных и инструмент работы с консолидированной моделью. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки программных продуктов, эмпирическим тестированием производительности на крупных моделях и апробацией комбинированных схем внедрения в реальных строительных проектах.

3. ГОСТ Р 10.0.02–2019/ИСО 16739–1:2018. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных.— М.: Стандартинформ, 2019.— 175 с. [Электронный ресурс]. URL: https://allgosts.ru/91/010/gost_r_10.0.02-2019 (дата обращения: 28.04.2026).
4. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла: свод правил.— М.: Минстрой России, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514520> (дата обращения: 28.04.2026).
5. СП 328.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели: свод правил.— М.: Минстрой России, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 28.04.2026).
6. Об утверждении требований к формату электронных документов, представляемых для проведения государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий и проверки достоверности определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства: Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Рос. Федерации от 12 мая 2017 г. № 783/пр. [Электронный ресурс]. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36522> (дата обращения: 28.04.2026).
7. Бовтеев, С. В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства / С. В. Бовтеев // Вестник гражданских инженеров.— 2023.— № 2 (97).— С. 65–74.
8. Волкодав, В. А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий / В. А. Волкодав, И. А. Волкодав // Вестник МГСУ.— 2020.— Т. 15, вып. 6.— С. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906.
9. Каракозова, И. В. Исследование подготовительных работ для использования BIM-технологий на примере проектирования медицинских организаций / И. В. Каракозова, Г. Г. Малыха, А. С. Павлов, А. С. Панин, Н. Д. Теслер // Вестник МГСУ.— 2020.— Т. 15, № 1.— С. 100–111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.100-111.
10. Ундозеров, В. А. Календарно-сетевое планирование в строительстве с применением информационного моделирования на примере «Пружинной диаграммы» / В. А. Ундозеров // Вестник Евразийской науки.— 2025.— Т. 17, № 2.— Статья 69SAVN225. [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/PDF/69SAVN225.pdf> (дата обращения: 28.04.2026).
11. Киевский, И. Л. Формирование центров компетенций применения технологии информационного моделирования в строительстве / И. Л. Киевский, Я. В. Жаров // Промышленное и гражданское строительство.— 2021.— № 11.— С. 4–10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.11.04-10.
12. Киевский, И. Л. Новеллы Первого объединенного евразийского конгресса по технологиям информационного моделирования / И. Л. Киевский, Я. В. Жаров, А. Ю. Юргайтис // Промышленное и гражданское строительство.— 2022.— № 2.— С. 43–50. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.02.43-50.
13. Tak, A. S. BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management / A. S. Tak, H. Taghaddos, A. Mousaei, A. Bolourani, U. Hermann // Automation in Construction.— 2021.— Vol. 128.— Article 103766. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103766.
14. Sheikhhkhoshkar, M. Automated planning of concrete joint layouts with 4D-BIM / M. Sheikhhkhoshkar, F. Pour Rahimian, M. H. Kaveh, M. R. Hosseini, D. J. Edwards // Automation in Construction.— 2019.— Vol. 107.— Article 102943. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102943.
15. Huang, L. BIM4D-based scheduling for assembling and lifting in precast-enabled construction / L. Huang, R. Pradhan, S. Dutta, Y. Cai // Automation in Construction.— 2022.— Vol. 133.— Article 103999. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103999.
16. Omran, J. Y. Using Building Information Modelling (BIM) by studying building orientation during design to achieve more sustainable buildings / J. Y. Omran, M. A. Wassouf // Вестник МГСУ.— 2024.— Т. 19, вып. 3.— С. 436–455. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.436-455.
17. Zeng, N. 4D BIM-Enabled Look-Ahead Scheduling for Early Warning of Off-Site Supply Chain Disruptions / N. Zeng, Y. Liu, M. König // Journal of Construction Engineering and Management.— 2023.— Vol. 149, № 1.— Article 04022154. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002433.
18. Singh, J. BIM-Based Approach for Automatic Pipe Systems Installation Coordination and Schedule Optimization / J. Singh, J. C. P. Cheng, C. J. Anumba // Journal of Construction Engineering and Management.— 2021.— Vol. 147, № 11. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002077.
19. Autodesk Navisworks. Project review software for AEC professionals: официальный продуктовый сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview> (дата обращения: 28.04.2026).
20. Bentley SYNCHRO 4D. Digital Construction Delivery Software: официальный продуктовый сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bentley.com/software/synchro/> (дата обращения: 28.04.2026).
21. Renga. Российская BIM-система для проектирования: официальный сайт системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://rengabim.com/> (дата обращения: 28.04.2026).

22. nanoCAD BIM Строительство: официальная страница продукта. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nanocad.ru/products/bim/stroitelstvo/> (дата обращения: 28.04.2026).
23. Pilot-BIM. Среда общих данных BIM-проектов: официальная страница продукта. [Электронный ресурс]. URL: <https://ascon.ru/products/pilot-bim/> (дата обращения: 28.04.2026).
24. ISO 19650–1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles: international standard.— Geneva: International Organization for Standardization, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/68078.html> (дата обращения: 28.04.2026).
25. ISO 19650–2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 2: Delivery phase of the assets: international standard.— Geneva: International Organization for Standardization, 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/68080.html> (дата обращения: 28.04.2026).
26. ISO 16739–1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema: international standard.— Geneva: International Organization for Standardization, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/84123.html> (дата обращения: 28.04.2026).

Разработка программного средства для анализа и генерации ответов на отзывы с маркетплейсов

Кашпаров Георгий Ильич, студент

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

В статье рассматривается программное средство ПС АГО, предназначенное для автоматизации работы с отзывами на маркетплейсах. Описаны назначение системы, основные функции веб-панели и результаты практического применения при подготовке ответов покупателям.

Ключевые слова: маркетплейсы, отзывы, большие языковые модели, генерация ответов, анализ тональности, электронная коммерция.

Введение

Отзывы покупателей являются важным элементом электронной коммерции: они влияют на доверие к продавцу, репутацию товара и решение клиента о покупке. При большом количестве заказов ручная работа с обратной связью становится трудоемкой, поскольку сотруднику необходимо просмотреть сообщение, подготовить корректный ответ и заметить повторяющиеся претензии.

Для решения этой задачи разработано программное средство ПС АГО, ориентированное на подготовку ответов покупателям и получение краткой аналитики по массиву отзывов.

Основная часть

ПС АГО представляет собой прикладной сервис для продавцов маркетплейсов. В его состав входят серверная часть на Go, локальное хранилище SQLite, модуль обработки отзывов с применением БЯМ и встроенная веб-панель. Система получает отзывы из внешнего источника,

формирует рекомендуемый ответ, определяет тональность и выделяет ключевые слова.

Контроль итогового текста остается за сотрудником: подготовленный ответ можно проверить и изменить перед публикацией. Для промежуточной проверки предусмотрена выгрузка в Google Sheets, где в одной строке сопоставляются текст отзыва, предложенная реакция и определенная тональность.

На рисунке 1 представлен пример выгрузки результатов обработки в Google Sheets.

Веб-панель объединяет запуск обработки, выбор параметров, публикацию подготовленных ответов и настройку промптов. Пользователь работает в одном окне, что сокращает количество ручных действий и делает сценарий обработки последовательным.

На рисунке 2 представлена вкладка управления веб-панели ПС АГО.

Отдельный раздел веб-панели предназначен для аналитики. В нем отображаются распределение оценок, соотношение тональностей и рейтинги товаров. Такие сведения позволяют перейти от единичной реакции на отзыв к оценке общей ситуации по ассортименту.

C	D	E	F
Rating	Text	Response	Mood
5	Красивый принт, мягкий материал	Здравствуйте! Благодарим за ваш выбор и высокую оценку. Нам очень приятно, что вы остались довольны качеством изделия и его дизайном. Носите с удовольствием и заглядывайте к нам за новинками!	Позитивный
5	Соответствует размеру	Здравствуйте! Благодарим за высокую оценку и ваш выбор. Очень рады, что комплект подошел вам идеально. Носите с удовольствием и пусть покупки в Play Today приносят только положительные эмоции	Позитивный
3	Очень низкий подъем, хотя по длине подошли	Здравствуйте! Благодарим вас за обратную связь. Нам очень жаль, что модель не подошла вам по подъему. При выборе обуви мы всегда рекомендуем обращать внимание на особенности полноты ноги, так как у разных мо. Надеемся, что в будущем вам удастся подобрать идеальный вариант из нашего ассортимента!	Позитивный
3	Чернильное пятно на футболке	Здравствуйте! Нам искренне жаль, что покупка не оправдала ваших ожиданий из-за внешнего дефекта. Мы уделяем особое внимание контролю качества, и такая ситуация для нас совершенно нетипична. Ваше замечание обязательно будет передано ответственному отделу для проведения внутренней проверки и предотвращения подобных случаев в будущем. Приносим свои извинения за доставленные неудобства.	Негативный

Рис. 1. Пример выгрузки результатов обработки в Google Sheets

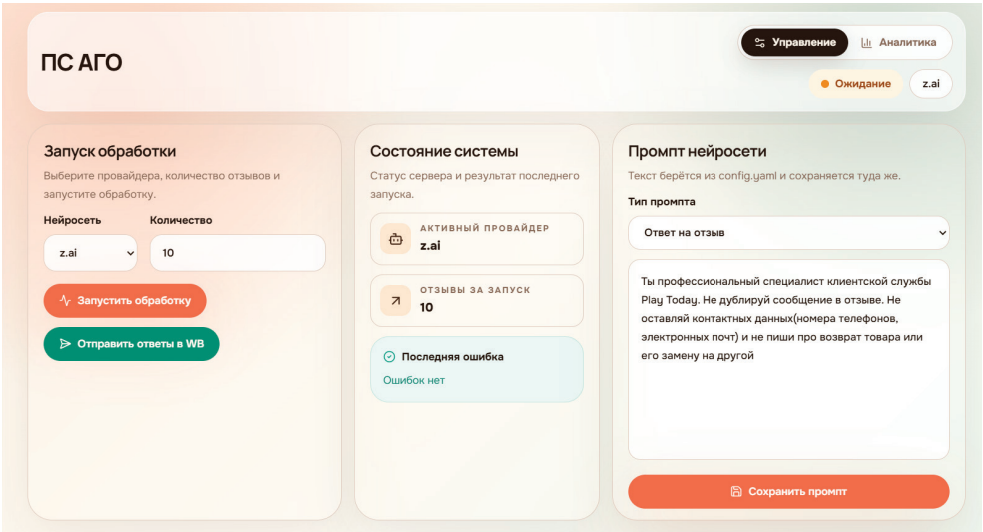


Рис. 2. Вкладка управления веб-панели ПС АГО

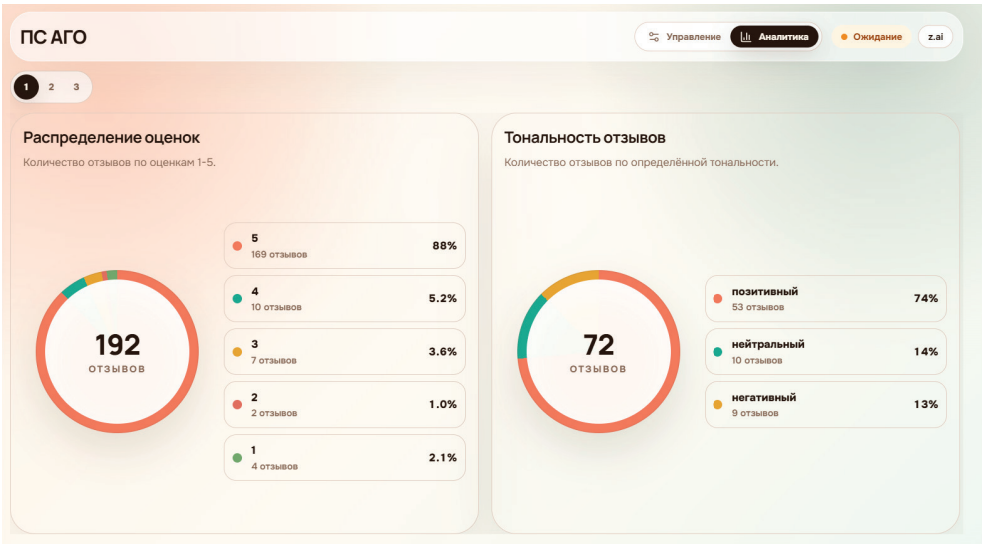


Рис. 3. Аналитика отзывов в веб-панели ПС АГО

На рисунке 3 показан пример аналитического представления данных.

Результаты

Апробация ПС АГО проводилась на сценарии обработки 50 отзывов. Сервис подготовил ответы, определил

тональность сообщений и предоставил данные для проверки перед публикацией. Работа с 50 отзывами заняла 14 мин 13 с, из них 8 мин 16 с пришлось на автоматическую генерацию, а 5 мин 57 с на проверку, исправление и отправку.

При ручной обработке со средним временем 2,5 мин на один отзыв потребовалось бы около 125 мин. Таким образом, применение ПС АГО позволило сократить затраты

времени примерно на 110 мин 47 с и одновременно получить аналитические сведения по массиву обратной связи.

Заключение

Разработанное ПС АГО решает задачу комплексной работы с отзывами на маркетплейсах: объединяет за-

грузку сообщений, применение больших языковых моделей, подготовку ответов, анализ тональности и визуализацию аналитики. Практическое применение показало, что сервис снижает ручную нагрузку, ускоряет реакцию на обращения покупателей и сохраняет за сотрудником контроль над итоговым текстом перед публикацией.

Литература:

1. Обзор рынка e-commerce 2024–2025 [Электронный ресурс] // Data Insight. — URL: https://datainsight.ru/DI_eCommerce_2025 (дата обращения: 09.05.2026).
2. Значимость отзывов в 2025 году: как изменилось поведение покупателей на российских маркетплейсах [Электронный ресурс] // SaleSynergy. — URL: <https://salesynergy.ru/znachimostj-otzyvov-v-2025-godu-kak-izmenilosj-povedenie-pokupatelej-na-rossijskih-marketplejsah.html> (дата обращения: 09.05.2026).
3. Официальная документация Go [Электронный ресурс]. — URL: <https://go.dev/doc/> (дата обращения: 09.05.2026).
4. Официальная документация React [Электронный ресурс]. — URL: <https://react.dev/learn> (дата обращения: 09.05.2026).

Интеллектуализированный архив вуза: архитектурное проектирование

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

В статье рассматриваются подходы к проектированию архитектуры интеллектуализированной системы архива университета. В основу положен поиск решений, позволяющих поддерживать надежность работы, гибкость системы и эффективную обработку больших объемов информации.

Ключевые слова: интеллектуальный архив, микросервисная архитектура, OCR, семантический поиск, вузовская информационная система, масштабируемость, отказоустойчивость.

Современный университет хранит большие массивы документов разных типов, требующих надежного учета, поиска, контроля сроков хранения и юридической значимости. Жизненный цикл документа охватывает поступление в архив, хранение, уничтожение или долговременное хранение с обеспечением безопасного доступа и соблюдением нормативных требований.

Традиционные методы учета и хранения не обеспечивают необходимую оперативность и интеллектуализированную обработку информации, особенно при росте объемов документов. Поэтому современные системы объединяют классические архивные функции с интеллектуальными механизмами, что соответствует государственной стратегии внедрения искусственного интеллекта в образовательные и управленческие процессы, повышая эффективность архивной работы и качество обслуживания пользователей. Таким образом, реализация необходимости цифровизации архивных процессов и внедрения современных методов искусственного интеллекта в вузовские информационные системы является индикатором актуальности работы, цель которой — проектирование архитектуры информационной системы архива вуза, сочетающей транзакционный учет документов и асинхронную интеллектуализированную обработку.

Основой исследования стала адаптация микросервисной архитектуры для интеллектуализированной системы архива вуза с учетом различной нагрузки, асинхронной обработки и требований к безопасности, что позволяет сочетать надежный транзакционный учет и ресурсоемкую интеллектуальную обработку.

При проектировании системы ключевым вопросом становится выбор архитектурного подхода, способного сочетать транзакционную надежность, соблюдение регламентов и высокую вычислительную нагрузку на интеллектуальные сервисы. В условиях вузовского архива документы различаются по типу и важности: кадровые, научные, административные, учебно-методические, и т. д. При этом система должна учитывать юридическую значимость документов, обеспечивать контроль сроков хранения и разграничение доступа к персональным данным.

При использовании монолитной архитектуры, все функции — от приема и учета документов до OCR и семантического поиска, будут объединены в одном приложении. На старте такой подход удобен: легко управлять транзакциями, централизованно хранить данные и развертывать систему. Однако при увеличении объема документов возникают проблемы. Например, ресурсоемкая

обработка сканов или извлечение сущностей замедляет работу критически важных транзакционных операций, таких как регистрация и выдача документов. Любое изменение интеллектуальных алгоритмов или добавление нового AI-модуля потребует модификации ядра системы, повышая вероятность ошибок и усложняя поддержку такой системы.

Эти ограничения дают понять, что архитектура должна учитывать разнотипную нагрузку: быстрые транзакции чувствительны к задержкам, тогда как обработка сканов и семантический поиск требовательны к вычислительным ресурсам. Из этого можно прийти к логическому выводу: монолитная архитектура недостаточно эффективна для одновременного обеспечения надежного учета и интеллектуальной обработки.

Микросервисная архитектура решает этот конфликт на уровне проектирования. Разделение системы на отдельные сервисные контуры позволяет:

- изолировать транзакционный контур, где выполняются быстрые операции регистрации, учета и выдачи документов, гарантируя их надежность и согласованность;
- вывести интеллектуальные сервисы в отдельный контур, что позволяет выполнять OCR, извлечение сущностей и семантический поиск асинхронно, не замедляя транзакционное ядро;
- централизовать аутентификацию, аудит и интеграцию с другими системами, что обеспечивает соблю-

дение требований к безопасности персональных данных и упрощает масштабирование системы.

Логический выбор микросервисной архитектуры следует из анализа ключевых требований: необходимость обработки больших объемов данных, асинхронность вычислений, независимость интеллектуальных модулей, безопасное управление пользователями и масштабируемость при росте нагрузки.

Следовательно, предлагаемая архитектура строится вокруг трех контуров: транзакционного, интеллектуального и инфраструктурного. Такой подход позволяет сохранить целостность данных и устойчивость транзакций, одновременно внедряя современные AI-механизмы. Архитектура обеспечивает возможность постепенной интеграции новых алгоритмов распознавания и анализа, что важно для долгосрочной цифровизации архивных процессов.

Рассмотренные выше подходы к проектированию интеллектуализированной системы архива университета позволили сделать вывод о том, что монолитные системы не позволяют эффективно сочетать транзакционный учет и ресурсоемкую интеллектуальную обработку. Предложенная микросервисная архитектура с разделением на транзакционный, интеллектуальный и инфраструктурный контуры обеспечивает масштабируемость, отказоустойчивость и безопасное внедрение AI-сервисов, соблюдение нормативных требований и технологическую гибкость, что важно для цифровизации процессов архивных в вузе.

Литература:

1. В чем разница между монолитной архитектурой и архитектурой микросервисов? — Текст: электронный // AWS: [сайт]. — URL: <https://aws.amazon.com/ru/compare/the-difference-between-monolithic-and-microservices-architecture/> (дата обращения: 13.04.2026).
2. Проектирование взаимодействия между службами для микрослужб. — Текст: электронный // Microsoft Learn: [сайт]. — URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/architecture/microservices/design/interservice-communication> (дата обращения: 13.04.2026).
3. Microservices architecture style. — Текст: электронный // Microsoft Learn: [сайт]. — URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/guide/architecture-styles/microservices> (дата обращения: 13.04.2026).

Развитие технологий 5G: реальность, ограничения и перспективы

Кулагина Дарья Алексеевна, студент;

Трунова Елизавета Игоревна, студент

Научный руководитель: Гостищев Станислав Сергеевич, преподаватель

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В статье рассматриваются особенности развития технологий мобильной связи пятого поколения (5G), а также анализируются ключевые технические, экономические и инфраструктурные ограничения их внедрения. Проведён анализ глобального распределения сетей 5G, особенностей использования частотного спектра и влияния высокой плотности базовых станций на стоимость инфраструктуры и энергопотребление. Особое внимание уделено проблемам внедрения 5G в России, включая санкционные ограничения, дефицит оборудования и сложности распределения радиочастотного спектра. Рассматриваются перспективы использования 5G в задачах промышленной автоматизации, интернета вещей, автономного транспорта и систем с низкими задержками. В работе также анализируется конкуренция 5G

с альтернативными технологиями беспроводной связи, включая Wi-Fi 6 и Wi-Fi 7, а также оцениваются перспективы дальнейшего развития сетей мобильной связи в условиях цифровой трансформации экономики.

Ключевые слова: 5G, мобильные сети, телекоммуникации, цифровая экономика, интернет вещей, network slicing, eMBB, URLLC, mmWave, радиочастотный спектр, базовые станции, мобильная связь, Wi-Fi 6, Wi-Fi 7, цифровая инфраструктура.

Пятое поколение мобильной связи (5G) рассматривается как одна из ключевых технологий цифровой трансформации XXI века. В отличие от предыдущих поколений мобильных сетей, ориентированных преимущественно на увеличение скорости передачи данных, архитектура 5G изначально проектировалась как универсальная платформа для поддержки широкого спектра цифровых сервисов. Технология ориентирована не только на мобильный интернет, но и на развитие промышленного интернета вещей (IoT), автономного транспорта, edge computing, интеллектуальных производственных систем и сервисов с критически низкими задержками.

Теоретические характеристики 5G существенно превосходят возможности сетей предыдущих поколений. Скорость передачи данных может достигать 10–20 Гбит/с, задержка — менее 1–5 мс, а плотность подключений — до одного миллиона устройств на квадратный километр [5]. Подобные параметры обеспечиваются благодаря использованию новых частотных диапазонов, повышению spectral efficiency, внедрению Massive MIMO и механизмов network slicing.

Однако практическое внедрение технологии сопровождается значительными ограничениями. Реальные скорости передачи данных существенно отличаются от теоретических показателей, а развертывание инфраструктуры требует масштабных финансовых вложений. Дополнительные сложности создают высокая плотность базовых станций, рост энергопотребления, ограниченность радиочастотного спектра и зависимость рынка оборудования от ограниченного числа производителей.

В российском контексте развитие 5G осложняется рядом дополнительных факторов, включая особенности регулирования частотного спектра, санкционные ограничения и необходимость формирования собственной технологической базы. В результате внедрение сетей пятого поколения в России происходит существенно медленнее по сравнению с рядом развитых стран.

Настоящая работа посвящена анализу современного состояния технологий 5G, исследованию инфраструктурных и экономических ограничений их внедрения, а также оценке перспектив развития сетей мобильной связи пятого поколения в мире и в России.

Текущее состояние и глобальное распределение сетей 5G

С момента начала коммерческого внедрения сетей 5G в 2019 году развитие технологии происходило высокими темпами. По данным Международного союза электросвязи (ITU), к 2024 году покрытие сетей пятого поколения

охватывало около 51 % населения мира, а общее число пользователей достигло примерно 3 млрд человек [1]. Согласно оценкам GSMA, доля 5G составляет около 30–35 % всех мобильных подключений [2].

Несмотря на быстрый рост, распределение инфраструктуры 5G остаётся крайне неравномерным. Наиболее высокий уровень внедрения наблюдается в странах Восточной Азии, Северной Америки и Западной Европы. В Южной Корее, Китае, Японии и США уровень покрытия достигает 80–90 % населения. Одновременно значительная часть развивающихся государств сохраняет ограниченный доступ к сетям пятого поколения, что усиливает глобальное цифровое неравенство.

На рисунке 1 представлено глобальное распределение доступности сетей 5G.

Наиболее высокий уровень внедрения характерен для стран, начавших коммерческое развертывание сетей в 2019–2020 гг. В государствах со средним уровнем внедрения покрытие сосредоточено преимущественно в крупных городах и индустриальных центрах. Значительная часть стран Африки, Центральной Азии и отдельных регионов Латинской Америки по-прежнему не располагает развитой инфраструктурой 5G.

Россия в настоящее время относится к числу стран, где технология находится преимущественно на стадии тестирования и пилотной эксплуатации. Массовое пользовательское покрытие практически отсутствует, а основной объём мобильного трафика продолжает обслуживаться сетями 4G LTE.

С точки зрения практических характеристик реальные скорости 5G обычно составляют от 100 до 400 Мбит/с [3], что существенно превышает показатели 4G. Однако достижение максимальных скоростей возможно только при использовании высокочастотных диапазонов mmWave и высокой плотности базовых станций. В российских условиях массовое использование подобных диапазонов ограничено как инфраструктурными, так и регуляторными факторами.

Экономические и инфраструктурные ограничения

Одним из ключевых факторов, ограничивающих развитие 5G, является высокая стоимость инфраструктуры. По оценкам отраслевых аналитиков, затраты на развертывание сетей пятого поколения могут превышать инвестиции в 4G в 2–3 раза [4]. Основная причина заключается в необходимости существенного увеличения плотности сети.

Если одна базовая станция 4G способна покрывать несколько километров территории, то радиус действия 5G

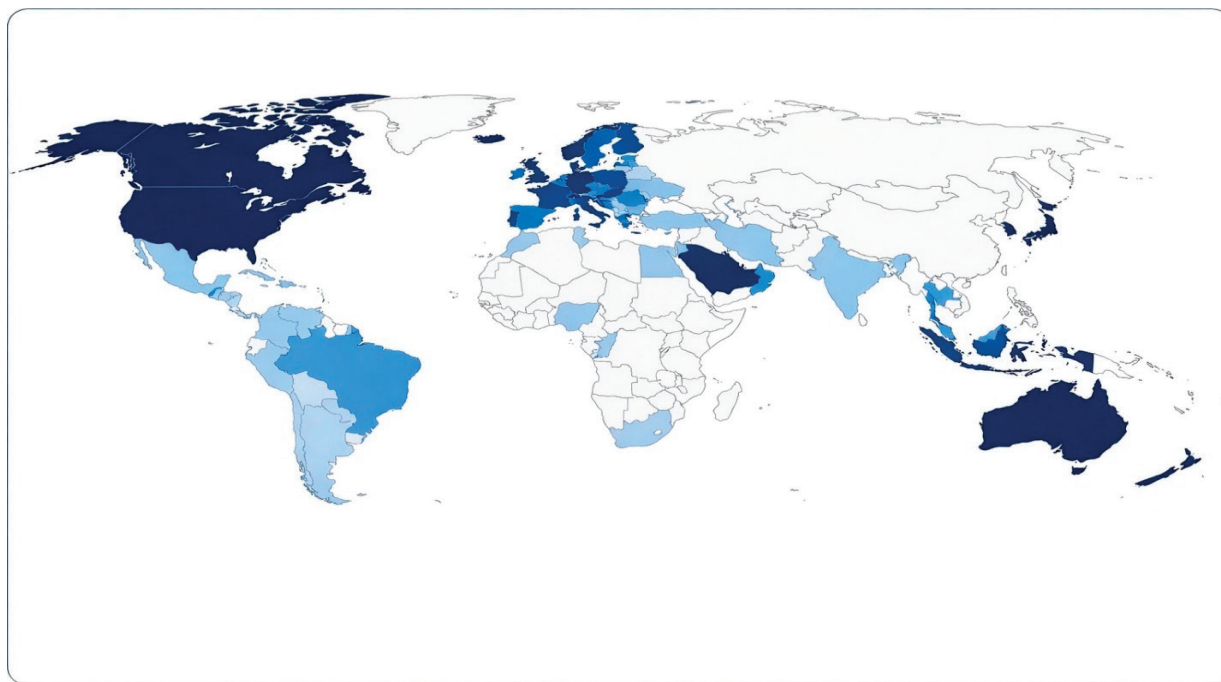


Рис. 1. Глобальное распределение доступности сетей 5G

в высокочастотных диапазонах может составлять лишь 100–300 метров [4]. В результате операторам требуется устанавливать значительно большее количество базовых станций, что приводит к росту затрат на оборудование, энергоснабжение, транспортную инфраструктуру и обслуживание сети.

Дополнительную сложность создаёт необходимость модернизации транспортных сетей и дата-центров. Технология 5G ориентирована на поддержку latency-sensitive services и massive machine-type communications (mMTC), что требует существенно более высокой пропускной способности магистральной инфраструктуры и развития edge computing.

В России инфраструктурные ограничения усиливаются большой территорией страны и низкой плотностью населения в ряде регионов. С экономической точки зрения развертывание сетей пятого поколения вне крупнейших агломераций характеризуется длительными сроками окупаемости. В результате приоритетным направлением остаётся модернизация существующих сетей 4G.

Серьёзной проблемой является и рост энергопотребления. По оценкам экспертов, сети 5G способны потреблять в 2–3 раза больше энергии по сравнению с 4G при сопоставимой нагрузке [3] [4]. Для России данный фактор особенно важен из-за необходимости эксплуатации оборудования в климатически сложных регионах.

Геополитические факторы и технологическая конкуренция

Современный рынок оборудования для сетей 5G характеризуется высокой концентрацией. Более 80–90 % глобального рынка контролируется компаниями Huawei,

Ericsson, Nokia и ZTE [2]. Подобная структура делает отрасль крайне чувствительной к геополитическим ограничениям и санкционной политике.

В последние годы технология 5G стала одним из элементов технологической конкуренции между Китаем, США и странами Европейского союза. Ограничения на использование оборудования Huawei в ряде западных государств существенно повлияли на структуру мирового рынка телекоммуникационного оборудования.

Для России санкционные ограничения стали одним из ключевых факторов замедления внедрения 5G [6]. Ограниченный доступ к зарубежному оборудованию, программному обеспечению и микроэлектронным компонентам привёл к необходимости развития собственных технологических решений. Подобная трансформация сопровождается увеличением затрат и ростом сроков внедрения инфраструктуры.

Отдельную проблему представляет распределение радиочастотного спектра. Наиболее востребованный диапазон 3,4–3,8 ГГц, широко используемый в коммерческих сетях 5G по всему миру, в России частично занят военными и специальными системами [6]. Это существенно ограничивает возможности развёртывания полноценных standalone-сетей пятого поколения.

При этом 5G сталкивается и с конкуренцией со стороны альтернативных технологий беспроводной связи. В ряде сценариев технологии Wi-Fi 6 и Wi-Fi 7 обеспечивают сопоставимые скорости передачи данных при существенно меньших затратах на инфраструктуру [4]. В корпоративном секторе и локальных сетях данные решения зачастую оказываются более экономически эффективными.

Кроме того, для большинства пользователей текущие возможности 4G остаются достаточными для повсе-

дневных задач. Это снижает коммерческую мотивацию операторов ускорять масштабное внедрение сетей 5G, особенно в условиях экономической неопределённости.

Использование технологий 5G и перспективы развития

Современные мобильные устройства массово поддерживают сети пятого поколения. Начиная с 2020 года поддержка 5G стала стандартом не только для флагманских смартфонов, но и для устройств среднего ценового сегмента [2]. Однако наличие поддержки со стороны устройства не гарантирует фактической доступности сети.

В России большинство пользователей не имеют возможности полноценно использовать 5G из-за ограниченного покрытия и отсутствия развитой инфраструктуры. Даже в тестовых зонах технология зачастую функционирует в ограниченном режиме.

Несмотря на существующие ограничения, развитие сетей пятого поколения продолжается. По прогнозам Ericsson и GSMA, к 2030 году доля 5G-подключений может превысить 60–70 % мирового мобильного трафика [2] [3]. Технология рассматривается как базовая инфраструктура для развития автономного транспорта, интеллектуальных производств, промышленного IoT, систем искусственного интеллекта и сервисов дополненной реальности.

Особое значение приобретает поддержка трёх ключевых сценариев использования 5G:

- enhanced Mobile Broadband (eMBB);
- Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC);
- massive Machine-Type Communications (mMTC).

Именно сочетание этих архитектурных сценариев отличает 5G от предыдущих поколений мобильной связи и превращает технологию в универсальную цифровую платформу.

В России дальнейшее развитие 5G, вероятно, будет происходить постепенно, преимущественно в крупнейших го-

родах, промышленных кластерах и объектах критической инфраструктуры. Существенную роль при этом будет играть развитие отечественных решений в области телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения.

Выводы

Технология 5G представляет собой важный этап развития телекоммуникационной инфраструктуры и является одним из ключевых элементов цифровой экономики. По сравнению с предыдущими поколениями мобильной связи 5G обеспечивает значительное увеличение скорости передачи данных, снижение задержек и поддержку принципиально новых сценариев использования сетевой инфраструктуры.

Одновременно внедрение сетей пятого поколения сопровождается рядом серьёзных ограничений. Ключевыми проблемами остаются высокая стоимость инфраструктуры, необходимость значительного увеличения плотности базовых станций, рост энергопотребления и ограниченность радиочастотного спектра. Дополнительное влияние оказывают геополитические факторы и высокая зависимость отрасли от ограниченного числа производителей оборудования.

В российском контексте развитие 5G осложняется санкционными ограничениями, дефицитом оборудования и особенностями распределения частотных диапазонов. Несмотря на это, развитие технологии продолжается, прежде всего в рамках пилотных проектов и локальных инфраструктурных решений.

Таким образом, 5G следует рассматривать не только как очередное поколение мобильной связи, но и как основу для формирования новой цифровой инфраструктуры. Эффективность дальнейшего развития технологии будет определяться способностью государств и операторов связи адаптировать архитектуру сетей к экономическим, технологическим и геополитическим условиям.

Литература:

1. International Telecommunication Union. Measuring Digital Development: Facts and Figures 2024. — Geneva: ITU, 2024.
2. GSMA Intelligence. The State of 5G 2024. — London: GSMA, 2024.
3. Ericsson. Ericsson Mobility Report 2024. — Stockholm: Ericsson, 2024.
4. Nokia. 5G Network Insights Report. — Espoo: Nokia, 2024.
5. 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Technical Specifications for 5G [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.3gpp.org> (дата обращения: 15.05.2026).
6. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology. — London: Academic Press, 2020. — 537 p.
7. Andrews J., Buzzi S., Choi W. et al. What Will 5G Be? // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. — 2014. — Vol. 32, № 6. — P. 1065–1082.
8. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> (дата обращения: 15.05.2026).
9. Osseiran A., Boccardi F., Braun V. et al. Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project // IEEE Communications Magazine. — 2014. — Vol. 52, № 5. — P. 26–35.
10. ITU, GSMA, Ericsson. Аналитические обзоры рынка телекоммуникаций и развития 5G. — 2023–2024.

Применение метода Monkey Patching для синхронизации доступа к последовательному порту

Миронов Андрей Владимирович, студент магистратуры

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

В статье рассматривается проблема синхронизации параллельного доступа к последовательному порту UART при автоматизированном тестировании встраиваемых систем. Предложено решение на основе метода Monkey Patching с использованием реентерабельной блокировки (RLock). Приведены результаты экспериментальной проверки на реальном устройстве.

Ключевые слова: Monkey Patching, синхронизация, UART, RLock, автоматизированное тестирование, встраиваемые системы, Python.

Последовательный порт (UART) остаётся одним из основных каналов связи для встраиваемых систем, промышленных контроллеров и периферийных устройств. При разработке прикладного ПО, взаимодействующего с таким оборудованием, часто возникает задача организации параллельного доступа к порту из нескольких потоков.

Особенность работы с UART заключается в том, что физический канал является последовательным и не поддерживает мультиплексирование запросов [1]. Если один поток отправляет команду и ожидает ответа, а второй поток в этот же момент начинает свою операцию, ответы перемешиваются, протокол обмена разрушается, а данные становятся нечитаемыми.

Классическое решение — синхронизировать все операции с портом через блокировку (mutex/lock), захватывая её перед отправкой команды и освобождая после получения ответа. Однако на практике библиотека, предоставляющая доступ к порту, может не иметь встроенной синхронизации, а её исходный код может быть недоступен или экономически нецелесообразно изменять.

В этой ситуации метод Monkey Patching позволяет модифицировать поведение библиотечных классов во время выполнения программы, «оборачивая» проблемные методы в критическую секцию без изменения исходного кода библиотеки [2].

Постановка проблемы. Имеется класс `LinuxTerminal` (внутренняя библиотека `serterm`), предоставляющий два метода для работы с UART:

- `run(cmd)`: отправляет команду, ожидает приглашение командной строки, возвращает вывод;
- `log_in()`: выполняет процедуру входа в систему (отправляет логин/пароль, обрабатывает приглашения).

Внутренняя реализация такова, что `log_in()` напрямую обращается к порту через `self.tty.write()` и `self.wait_for_string()`, не используя метод `run()`. Это создаёт две проблемы:

1. Если синхронизировать только `run()`, вызов `log_in()` из другого потока всё равно создаст коллизию.
2. Метод `log_in()` внутри себя вызывает `self.run(«dmesg -nl»)` — то есть при синхронизации возникает вложенный вызов.

При использовании обычной блокировки (`threading.Lock`) вложенный вызов приведёт к взаимной блокировке (deadlock): поток уже удерживает блокировку и пытается захватить её повторно.

Предлагаемое решение. Monkey Patching позволяет подменить методы `run()` и `log_in()` в момент запуска программы, не изменяя исходный код библиотеки.

Реентерабельная блокировка `RLock` допускает повторный захват тем же потоком, решая проблему вложенного вызова `run()` внутри `log_in()`.

Декоратор `functools.wraps` сохраняет метаданные исходной функции (`__name__`, `__doc__`), что важно для работы инструментов отладки [3].

Код реализации на языке python представлен в листинге (рис. 1).

Представлена диаграмма последовательности, иллюстрирующая взаимодействие потоков при синхронизированном доступе к UART на рис. 2.

Экспериментальная проверка

Корректность работы проверялась на реальном устройстве, подключённом через USB-UART переходник. Управляющий компьютер с ОС Rocky Linux 9.6. Тестовый сценарий: одновременный запуск двух потоков, один из которых вызывает `run()` с короткой командой (`hostname`), второй — `log_in()`.

Без синхронизации: наблюдались ошибки выполнения команд с кодом возврата 130 (процесс убит сигналом SIGINT). Служебные символы от `log_in()` (Ctrl+C) прерывали команду, выполняемую другим потоком.

Заключение

В работе рассмотрена проблема синхронизации параллельного доступа к последовательному порту UART. Предложено решение на основе метода Monkey Patching с использованием реентерабельной блокировки RLock. Основные результаты:

— Показано, как динамическая подмена методов библиотечного класса позволяет внедрить синхронизацию без изменения исходного кода.

— Обоснован выбор RLock вместо Lock для корректной обработки вложенных вызовов.

— Экспериментально подтверждена работоспособность метода для коротких команд.

— Выявлены ограничения, связанные с драйверным уровнем, и предложены пути их преодоления.

Предложенный подход может быть применён в любых Python-проектах, где требуется синхронизировать доступ к внешним ресурсам через библиотеки, не поддерживающие многопоточность.

Литература:

1. Петров А. А. Протокол передачи данных для UART / Достижения науки и образования. — 2016. — № 1 (2). — С. 9–10.
2. Столяров А. В., Французов О. Г., Аникина А. С. Чистая компиляция как парадигма программирования / Труды ИСП РАН. — 2018. — Т. 30, вып. 2. — С. 7–24.
3. Pilgrim M. Dive Into Python 3. — Apress, 2009. — 360 p.

Сравнительный анализ классических и нейросетевых методов оценки текстовой схожести в задаче распределения тем выпускных квалификационных работ

Мякишев Даниил Дмитриевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Гафаров Фаиль Мубаракович, кандидат физико-математических наук, доцент
Казанский (Приволжский) федеральный университет

В статье рассматривается задача автоматического распределения тем выпускных квалификационных работ между студентами и преподавателями. Предложена информационная система, реализующая два подхода к оценке текстовой схожести: классический (TF-IDF) и на основе эмбедингов (Sentence-BERT). Разработан единый жадный алгоритм распределения, учитывающий интересы студентов, приоритет тем и нагрузку преподавателей. Эксперимент проведён на синтетическом датасете из 50 студентов, 60 тем и 10 преподавателей. Показано, что Sentence-BERT превосходит TF-IDF по средней текстовой схожести на 152 % и по среднему интегральному баллу на 78 %. Доля расхождений в назначениях между режимами составила 35 %, что подтверждает значимость выбора метода оценки схожести. Разработанная система может быть внедрена в учебный процесс для автоматизации распределения ВКР.

Ключевые слова: распределение ВКР, TF-IDF, Sentence-BERT, жадный алгоритм, эмбединги, информационная система, сравнительный анализ.

Ежегодной задачей любого высшего учебного заведения является распределение студентов выпускных курсов по темам выпускных квалификационных работ (ВКР). Традиционно это распределение выполняется вручную: студенты выбирают темы из предложенного списка, преподаватели утверждают или корректируют выбор. При малом количестве студентов (до 20 человек) такой подход работоспособен. Однако при увеличении числа студентов до 50–100 человек и более ручное распределение становится трудоёмким, занимает несколько недель и подвержено субъективным ошибкам.

Автоматизация этой задачи позволяет не только сократить временные затраты, но и учесть интересы студентов (текстовое описание их научных интересов), приоритеты тем, а также равномерно распределить нагрузку между преподавателями.

Ключевой подзадачей при автоматизации является оценка текстовой схожести между интересами студента и описанием темы ВКР. В данной работе сравниваются два принципиально разных подхода к этой оценке: классический (TF-IDF) и современный нейросетевой (Sentence-BERT). Оба метода интегрированы в единую информационную систему с общим алгоритмом распределения, что позволяет провести чистое сравнение и оценить преимущества каждого подхода.

Цель работы — разработка информационной системы для автоматического распределения тем ВКР и сравнительный анализ двух подходов к оценке текстовой схожести.

1. Постановка задачи

Пусть заданы:

- множество студентов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, где $n = 50$;
- множество тем $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, где $m = 60$;
- множество преподавателей $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$, где $k = 10$.

Для каждого студента s_i известен текст, описывающий научные интересы, и список предпочтительных тем. Для каждой темы t_j известны название, описание, преподаватель и приоритет. Для каждого преподавателя p_k задана максимальная нагрузка.

Необходимо найти отображение $\text{match}: S \rightarrow T$, максимизирующее суммарный интегральный балл по всем назначенным парам:

$$\sum_{\{(s_i, t_j) \in \text{assignments}\}} \text{score}(s_i, t_j) \rightarrow \max$$

при соблюдении ограничений:

- каждый студент получает не более одной темы,
- каждая тема назначается не более чем одному студенту,
- нагрузка каждого преподавателя не превышает максимально допустимой.

Интегральный балл пары рассчитывается по формуле (1):

$$\text{score}(s_i, t_j) = w_1 \cdot \text{sim_text}(s_i, t_j) + w_2 \cdot \text{priority}(t_j) - w_3 \cdot \text{load_penalty}(p_k) \tag{1}$$

где $w_1 = 0,7$, $w_2 = 0,2$, $w_3 = 0,1$. Выбор весов обоснован приоритетом интересов студента (70 %), важностью темы для кафедры (20 %) и необходимостью избежать перегрузки преподавателей (10 %).

2. Методы оценки текстовой похожести

2.1. Классический подход: TF-IDF

TF-IDF (Term Frequency — Inverse Document Frequency) — статистический метод, оценивающий важность слов в документе относительно коллекции документов [1]. Метод основан на двух компонентах:

- TF (Term Frequency) — частота термина в документе;
- IDF (Inverse Document Frequency) — обратная частота документа, показывающая, насколько редко слово встречается во всей коллекции.

Итоговая формула TF-IDF имеет вид (2):

$$\text{TFIDF}(t, d, D) = \text{TF}(t, d) \times \text{IDF}(t, D) \tag{2}$$

Схожесть между студентом и темой вычисляется как косинусное сходство между их TF-IDF-векторами (3):

$$\text{sim_text}(s_i, t_j) = (\mathbf{v}_{\{s_i\}} \cdot \mathbf{v}_{\{t_j\}}) / (\|\mathbf{v}_{\{s_i\}}\| \|\mathbf{v}_{\{t_j\}}\|) \tag{3}$$

В работе используется реализация `TfidfVectorizer` из библиотеки `scikit-learn` [2]. TF-IDF обладает высокой скоростью вычислений и полной интерпретируемостью, но не учитывает семантику и синонимы.

2.2. Нейросетевой подход: Sentence-BERT

Sentence-BERT (SBERT) — модификация архитектуры BERT [3], предназначенная для сравнения предложений [4] [5]. SBERT кодирует текст в плотный вектор (эмбединг) фиксированной размерности, а схожесть оценивается как косинусное сходство между эмбедингами (4):

$$\text{sim_text}(s_i, t_j) = (\mathbf{e}_{\{s_i\}} \cdot \mathbf{e}_{\{t_j\}}) / (\|\mathbf{e}_{\{s_i\}}\| \|\mathbf{e}_{\{t_j\}}\|) \tag{4}$$

В работе используется модель `paraphrase-MiniLM-L6-v2` из библиотеки `sentence-transformers` [6]. SBERT понимает смысл текста, распознаёт синонимы и парафразы, поддерживает русский язык, но требует больше вычислительных ресурсов и менее интерпретируем [7].

Сравнительная характеристика методов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение методов оценки текстовой похожести

Критерий	TF-IDF	Sentence-BERT
Принцип работы	Частота и редкость слов	Семантическое кодирование предложений
Учёт синонимов	Нет	Да
Учёт контекста	Нет	Да
Интерпретируемость	Высокая	Низкая
Скорость работы	Очень высокая	Средняя
Поддержка русского языка	Да (базовая)	Да (многоязычная модель)

3. Алгоритм распределения

Для решения задачи распределения используется жадный алгоритм (greedy algorithm). Выбор жадного алгоритма обусловлен простотой реализации, прозрачностью логики, достаточной скоростью работы и детерминированностью результата.

Входные данные алгоритма:

- список студентов S (каждый с идентификатором);
- список тем T (каждая с идентификатором, приоритетом и идентификатором преподавателя);
- список преподавателей P (каждый с максимальной нагрузкой);
- матрица похожести Sim размера $n \times m$.

Шаги алгоритма:

- 1) для каждого студента и каждой темы вычисляется интегральный балл по формуле (1). Все $n \times m$ сохраняются в список с метаданными;
- 2) список всех пар сортируется по убыванию интегрального балла;
- 3) создаются множества назначенных студентов и назначенных тем, а также словарь текущей нагрузки преподавателей;
- 4) для каждой пары из отсортированного списка последовательно проверяются три условия: студент ещё не назначен, тема ещё не назначена, преподаватель не достиг максимальной нагрузки. Если все условия соблюдены — пара назначается;
- 5) алгоритм возвращает список назначенных пар и вычисляет метрики качества.

Временная сложность алгоритма составляет $O(n \times m \times \log(n \times m))$. Для $n = 50$, $m = 60$ это около 5000 операций, что допустимо для практического применения.

4. Метрики качества

Для объективной оценки качества работы алгоритма и сравнения двух режимов используется набор метрик, характеризующих различные аспекты распределения.

Средняя текстовая похожесть (Average Similarity) показывает, насколько в среднем интересы студентов соответствуют описаниям назначенных им тем. Вычисляется как среднее арифметическое косинусных сходств по всем назначенным парам (5):

$$avg_sim = (1 / |A|) \cdot \sum_{(s_i, t_j) \in A} sim_text(s_i, t_j) \quad (5)$$

Средний интегральный балл (Average Score) показывает эффективность распределения с учётом всех факторов (текстовая похожесть, приоритет темы, нагрузка преподавателя). Вычисляется аналогично (6):

$$avg_score = (1 / |A|) \cdot \sum_{(s_i, t_j) \in A} score(s_i, t_j) \quad (6)$$

Дисперсия нагрузки (Load Variance) характеризует разброс нагрузки преподавателей относительно среднего значения (7):

$$load_variance = (1 / k) \cdot \sum_{k=1}^k (load(p_k) - mean_load)^2 \quad (7)$$

Чем меньше дисперсия, тем равномернее распределены студенты между преподавателями.

Разброс нагрузки (Load Range) показывает разницу между максимально и минимально нагруженным преподавателем (8):

$$load_range = \max(load(p_k)) - \min(load(p_k)) \quad (8)$$

Метрика удовлетворения предпочтений (Top-K Satisfaction) оценивает, насколько часто назначенная студенту тема попадает в его список предпочтений (9):

$$topk_sat = |\{s_i \in S_{\{pref\}} : assigned(s_i) \in pref(s_i)[K]\}| / |S_{\{pref\}}| \quad (9)$$

В данной работе принято значение $K = 3$.

Доля расхождений — процент студентов, получивших разные темы в классическом и ИИ-режимах.

5. Экспериментальная оценка

5.1. Дизайн эксперимента

Эксперимент проводился на синтетическом датасете, имитирующем реальный выпуск одного направления подготовки. Параметры датасета представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры эксперимента

Параметр	Значение
Количество студентов	50
Количество тем	60
Количество преподавателей	10
Максимальная нагрузка преподавателя	5–8 студентов
Весовые коэффициенты	(0,7; 0,2; 0,1)
Модель эмбедингов	paraphrase-MiniLM-L6-v2

Данные генерировались с использованием шаблонов интересов, направлений и тем, обеспечивающих реалистичное разнообразие. Все тексты на русском языке.

5.2. Результаты

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение метрик TF-IDF и Sentence-BERT

Метрика	TF-IDF	Sentence-BERT	Разница	Относительное изменение
Средняя похожесть	0,21	0,53	+0,32	+152 %
Средний балл	0,27	0,48	+0,21	+78 %
Дисперсия нагрузки	0,42	0,42	0	0 %
Разброс нагрузки	4	4	0	0 %
Удовлетворение Топ-3	65 %	75 %	+10 п.п.	+15 %
Доля назначенных студентов	100 %	100 %	0	0 %
Доля расхождений	—	35 %	—	—

Sentence-BERT превосходит TF-IDF по средней похожести на 152 % (0,53 против 0,21) и по среднему баллу на 78 % (0,48 против 0,27). Это объясняется тем, что SBERT улавливает семантическую близость текстов, тогда как TF-IDF находит только точные совпадения слов.

SBERT обеспечивает более высокое удовлетворение Топ-3 (75 % против 65 %). Разница в 10 процентных пунктов объясняется лучшим пониманием смысла интересов студента.

Оба подхода показали одинаковые значения дисперсии нагрузки (0,42) и разброса (4). Это ожидаемый результат, так как алгоритм распределения и ограничения идентичны для обоих режимов.

35 % студентов получили разные темы в классическом и ИИ-режимах. Это подтверждает, что выбор метода оценки похожести существенно влияет на итоговое распределение, и задача сравнения подходов является актуальной.

6. Программная реализация

Разработана информационная система, реализующая описанные алгоритмы. Система имеет клиент-серверную архитектуру и включает три основных компонента:

- бэкенд: FastAPI [8], SQLAlchemy, JWT-аутентификация. Реализует REST API для управления данными, запуска распределения и сравнения режимов;
- фронтенд: React, Vite. Обеспечивает веб-интерфейс для авторизации, управления данными, запуска распределения и просмотра результатов;
- база данных: PostgreSQL (в Docker-сборке) или SQLite (для локальной разработки).

Система поддерживает ролевую модель (администратор, преподаватель, студент) и кэширование эмбедингов для ускорения повторных расчётов. Контейнеризация через Docker [9] обеспечивает воспроизводимость окружения и простоту развёртывания.

Архитектура системы представлена на рисунке 1.

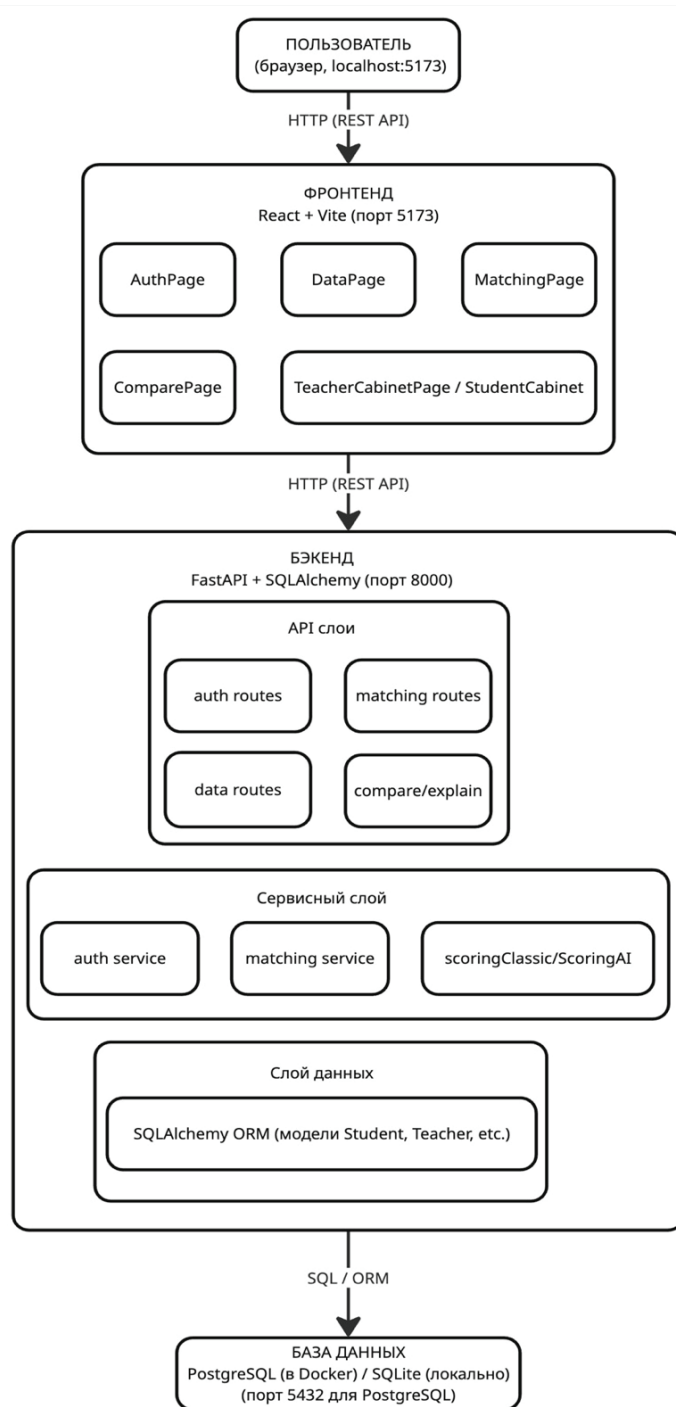


Рис. 1. Архитектура системы

Заключение

В работе проведён сравнительный анализ двух подходов к оценке текстовой схожести в задаче распределения тем ВКР: классического (TF-IDF) и нейросетевого (Sentence-BERT). Эксперимент на синтетическом датасете из 50 студентов, 60 тем и 10 преподавателей показал:

- Sentence-BERT значительно превосходит TF-IDF по средней текстовой схожести (+152 %) и среднему интегральному баллу (+78 %);
- удовлетворение предпочтений студентов при использовании SBERT выше на 10 процентных пунктов (75 % против 65 %);
- доля расхождений в назначениях между режимами составила 35 %, что подтверждает значимость выбора метода;
- оба подхода обеспечивают 100 % назначение студентов и сопоставимую равномерность нагрузки преподавателей.

Разработанная информационная система готова к пилотному внедрению в учебном заведении. Дальнейшие исследования могут быть направлены на апробацию системы на реальных данных, внедрение гибридного подхода (комбинация TF-IDF и эмбедингов), а также на сравнение различных моделей эмбедингов для русского языка.

Литература:

1. Manning C. D. Introduction to Information Retrieval / C. D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze. — Cambridge University Press, 2008. — 482 с.
2. Pedregosa F. Scikit-learn: Machine Learning in Python / F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort [et al.] // Journal of Machine Learning Research. — 2011. — Vol. 12. — P. 2825–2830.
3. Devlin J. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M. Chang, K. Lee, K. Toutanova // Proceedings of NAACL-HLT. — 2019. — P. 4171–4186.
4. Reimers N. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks / N. Reimers, I. Gurevych // Proceedings of EMNLP. — 2019. — P. 3982–3992.
5. Vaswani A. Attention Is All You Need / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar [et al.] // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2017. — Vol. 30. — P. 5998–6008.
6. Sentence-Transformers Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.sbert.net> (дата обращения: 12.01.2026).
7. Кураленко И. Е. Анализ методов оценки семантической близости текстов на русском языке / И. Е. Кураленко, А. А. Мальцев // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2021. — № 4. — С. 45–58.
8. FastAPI Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://fastapi.tiangolo.com> (дата обращения: 25.01.2026).
9. Docker Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.docker.com> (дата обращения: 10.02.2026).

Методика промпт-инжиниринга с учетом педагогическими ограничениями для генерации адаптивных заданий по программированию

Нижегородова Ксения Александровна, студент магистратуры
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

Внедрение больших языковых моделей (LLM) в образовательный процесс предоставляет возможности для персонализации обучения, однако вероятностный характер их работы, склонность к генерации неточностей и отсутствие формализованных дидактических правил ограничивают применение в академической среде. В данной статье представлена методика промпт-инжиниринга с учетом педагогических ограничений, направленная на генерацию адаптивных заданий по программированию. Методика основана на трансляции таксономических, когнитивных и структурных требований в машиночитаемые схемы ограничений, многоэтапном управлении конвейером генерации и гибридной валидации. Предложенная архитектура способствует детерминированности вывода, воспроизводимости результатов и интеграции с системами управления обучением.

Ключевые слова: большие языковые модели, промпт-инжиниринг, педагогические ограничения, адаптивное обучение, программирование, таксономия Блума, валидация кода, LLM-оркестрация, *constraint-based prompting*.

Введение

Процессы цифровой трансформации в образовании стимулируют активное внедрение генеративных моделей в разработку учебных материалов и индивидуальное сопровождение обучающихся. В областях, которые связаны с программированием, большие языковые модели показывают потенциал в автоматизации создания задач, эталонных решений и тестовых наборов. Вместе с тем не-

контролируемое применение таких моделей связано с рисками нестабильности результатов, нарушений академической честности и несоответствия установленным образовательным стандартам. Цель настоящего исследования — разработать обоснованную методику промпт-инжиниринга с жесткими педагогическими ограничениями, которые обеспечивают воспроизводимую генерацию адаптивных заданий по программированию, которые соответствуют таксономическим и когнитивным критериям.

1. Эволюция промпт-инжиниринга и ограничения LLM в образовании

Большие языковые модели обладают способностью анализировать цифровые следы деятельности обучающихся, выявлять пробелы в знаниях и динамически адаптировать сложность учебных материалов в рамках концепции массовой индивидуализации [8, 6]. В программировании архитектуры, обученные на репозиториях кода, обеспечивают генерацию и анализ алгоритмических конструкций [7,9]. Однако выявлены системные ограничения: высокая вычислительная нагрузка, потеря логической последовательности при длительной генерации, склонность к генерации неточностей (до 20 % заданий содержат скрытые ошибки) [5,10], а также риски для академической честности при смещении акцента с освоения компетенций на взаимодействие с ИИ [4].

Промпт-инжиниринг прошел путь от эвристического подбора формулировок к формализованному процессу. Стратегии *Chain-of-Thought*, *ReAct* и *Role Prompting* улучшают логическую связность ответа, однако без параметризации педагогических требований генерация остается вероятностной [3]. Существенным шагом стало внедрение *constraint-based prompting*, предполагающего кодирование требований в структурированные схемы (JSON/YAML), которые сужают пространство вывода и обеспечивают типовую безопасность [1,9]. Для образовательных заданий целесообразна детерминированная оркестрация с константными правилами валидации, исключающая оптимизацию промптов под технические метрики в ущерб педагогической корректности.

2. Формализация педагогических требований в машиночитаемые ограничения

Генерация заданий по программированию требует сбалансирования внутренней когнитивной нагрузки и внешних факторов. Для уменьшения перегрузки вводятся параметры, перечень необходимых предварительных знаний, а также уровень абстракции, который формализует принцип «от конкретного к абстрактному» [9].

Классификация образовательных результатов с опорой на таксономию Блума преобразуется в технические параметры, управляющие процессом генерации следующим образом:

- Анализ обозначается параметром *requires_trace: true*, предполагающим создание задания с логической ошибкой и трассировкой до точки сбоя. Проверка выполняется в изолированной программной среде с оценкой расхождения с эталоном.
- Синтез характеризуется *design_required: true*, формируя открытое задание с возможностью выбора архитектурного подхода. Валидация учитывает покрытие тестами и оценку оригинальности по разделам.
- Систематизация требований осуществляется посредством единой машиночитаемой модели, формулируемой как задача удовлетворения ограничений [1].

3. Архитектура конвейера генерации и гибридной валидации

Разработанная методика выполнена в форме многоэтапного оркестрационного конвейера, которая обеспечивает замкнутый цикл обратной связи:

- Планирование, преобразование педагогических параметров в DSL-конфигурацию.
- Генерация, вызов LLM с применением *Chain-of-Thought* и *Role Prompting* в рамках структурных ограничений.
- Валидация схемы, проверка формата через JSON и регулярные выражения.
- Изолированное исполнение, запуск кода в Docker с ограничениями по времени выполнения и памяти [3].
- Педагогическая оценка, применение LLM в роли судьи, откалиброванного на экспертных выборках, расчет индекса соответствия раздела и проверка на академическую честность [2].
- Самокоррекция, при обнаружении отклонений модель получает структурированный обратный ответ и повторяет генерацию [2].

4. Сравнительный анализ и перспективы внедрения

Существующие методы не достигают одновременно детерминированности формата, автоматической проверки педагогической релевантности и воспроизводимости. Эвристический промптинг, основанный на ручной проверке, демонстрирует низкий уровень соответствия педагогическим нормам и высокую вариативность вывода. Методы цепочек рассуждений (*CoT/ReAct*) улучшают логическую последовательность, но не обеспечивают изолированное исполнение кода и зависят от настройки гиперпараметров. Многоэтапные «оркестраторы» с использованием изолированной программной среды представляют оптимальную архитектуру для промышленного внедрения, сочетая гибридную валидацию и автоматическую коррекцию, но обладают чувствительностью к настройкам «модели-судьи».

Предложенная методика устраняет выявленные недостатки через четырехуровневую систему ограничений: подавление случайности декодирования за счет фиксации гиперпараметров и структурных контрактов. Интеграцию разнородных валидаторов в единый конвейер с ветвлением и самокоррекцией. Представленное решение может служить архитектурным шаблоном для интеграции LLM в системы управления обучением и адаптивные платформы.

Заключение

Разработанная методика промпт-инжиниринга с педагогическими ограничениями обеспечивает переход от эмпирического взаимодействия с большими языковыми моделями к инженерному обоснованному процессу ге-

нерации адаптивных заданий по программированию. Формализация таксономических, когнитивных и структурных требований в машиночитаемые схемы, многоуровневая валидация с изолированным исполнением кода и протоколы воспроизводимости позволяют снизить влияние вероятностной природы генерации, обеспечивая

педагогическую релевантность и академическую корректность формируемых материалов. Представленная методика формирует теоретико-методологическую основу для создания информационных систем адаптивного обучения и открывает перспективы для последующих экспериментальных исследований в области цифрового образования.

Литература:

1. Nikolic S. Assessment Integrity and Validity in the Teaching Laboratory: Adapting to GenAI by Developing an Understanding of the Verifiable Learning Objectives Behind Laboratory Assessment Selection / S. Nikolic [et al.] // *European Journal of Engineering Education*. — 2025. — Т. 50, № 4. — С. 673–701.
2. Paiva J. C. Automated Assessment in Computer Science Education: A State-of-the-Art Review / J. C. Paiva, J. P. Leal, A. Figueira // *ACM Transactions on Computing Education*. — 2022. — Т. 22, № 3. — С. 1–40.
3. Wei J. Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models / J. Wei [et al.] // *Advances in Neural Information Processing Systems*. — 2022. — Т. 35. — С. 24824–24837.
4. Жуков А. Д. Генеративный искусственный интеллект в образовательном процессе: вызовы и перспективы // *Вестник Московского государственного университета культуры и искусств*. — 2023. — №. 5 (115). — С. 66–75.
5. Захарова И. Г. Большие языковые модели в образовании: создание тестовых заданий с помощью ChatGPT // *Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании*. — 2023. — С. 1100–1104.
6. Константинова Л. В. и др. Генеративный искусственный интеллект в образовании: дискуссии и прогнозы // *Открытое образование*. — 2023. — Т. 27. — №. 2. — С. 36–48.
7. Леонов А. Г. и др. Области применения больших языковых моделей для цифровых образовательных платформ // *Труды НИИСИ*. — 2025. — Т. 15. — №. 2. — С. 09–15.
8. Поспелова Е. А. и др. Генеративный искусственный интеллект в образовании: анализ тенденций и перспектив // *Профессиональное образование и рынок труда*. — 2024. — Т. 12. — №. 3 (58). — С. 6–21.
9. Сазонов А. П. Использование ИИ в программировании // *Universum: технические науки*. — 2024. — Т. 1. — №. 3 (120). — С. 46–52.
10. Чунгулова Г. К., Оразалиева Э. Н. Возможности и проблемы больших языковых моделей в образовании на примере ChatGPT // *Наука и реальность/Science & Reality*. — 2024. — №. 4 (20). — С. 85–91.

Исследование и разработка алгоритма текстового поиска по медиаконтенту

Рослякова Полина Юрьевна, студент магистратуры

Научный руководитель: Федотова Елена Леонидовна, кандидат педагогических наук, доцент
Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В последние года пользователи чаще воспринимают знания, новости, обучающие материалы и развлекательный контент в формате видео, ориентируясь на быстрый доступ и минимальные затраты времени на поиск. Поиск по видео материалам используется на образовательных платформах, в социальных сетях, новостных сервисах, электронных библиотеках, а также в маркетинге. Однако на практике пользователи сталкиваются с некачественной поисковой выдачей из-за того, что существующие решения опираются на текстовое описание, которое зачастую не является надежным представлением фактического содержания ролика. Причины этого разнообразны: авторы могут сознательно использовать при-

влекающие внимание, но вводящие в заблуждение заголовки, использовать неполное или шаблонное описание, либо часть контента публикуется без содержательных метаданных. В результате пользователь, формируя запрос, получает выдачу, которая формально соответствует текстовым полям, но не соответствует содержанию видео. В таких условиях задача эффективного поиска по видеоконтенту является важной функцией в условиях растущего объема информации и потребностей пользователей.

Медиаконтент существенно отличается от традиционных текстовых документов как по структуре, так и по способам извлечения смысловой информации. Если текстовый документ изначально представлен в форме, при-

годной для индексирования и сопоставления с запросом, то видео является многомодальным объектом, содержащим одновременно несколько каналов информации: визуальный ряд, аудиодорожку, текстовые элементы внутри кадров, а также внешнюю метainформацию. Это приводит к тому, что задача текстового поиска по видеоконтенту не может быть полностью решена методами классического информационного поиска без предварительного преобразования контента в набор признаков, доступных для индексации.

На сегодняшний день большинство существующих средств, которые дают пользователю возможность искать видео по текстовому запросу, используют один или несколько данных:

1. Метаданные: название, описание, теги, автор, дата.
2. ASR: автоматическое распознавание речи в аудиодорожке видео и построение текстовой транскрипции.
3. OCR: распознавание текста в кадрах.
4. Субтитры: если у видео есть загруженные или автоматически созданные субтитры, они индексируются как текст.

Таким образом, рассматриваемые средства решают задачу поиска по содержанию преимущественно через текстовую модальность, то есть фактически реализуют поиск по производным представлениям видео в виде текста. При такой архитектуре релевантность результата определяется тем, что написано и что произнесено в аудиодорожке, тогда как соответствие запросу по визуальному содержанию видеоряда не учитывается вовсе. Это особенно важно для сценариев, в которых пользователь ожидает увидеть определённое действие или сцену, а не просто услышать обсуждение темы.

Следовательно, для повышения точности поисковой выдачи и приближения результатов с ожиданиями пользователя целесообразно применять гибридный подход, объединяющий несколько источников релевантности. В рамках гибридного поиска текстовые признаки обеспечивают высокую полноту и покрытие запросов, а признаки, извлеченные из визуального содержимого, позволяют реализовать сопоставление запроса с тем, что действительно присутствует в кадре. Такое объединение поможет улучшить релевантность поиска.

Предлагаемое решение основано на мультимодальном сопоставлении текста и визуального контента в едином векторном пространстве и включает этапы подготовки данных, построения векторного индекса и выполнения поиска ближайших векторов.

В качестве модели, выбрана мультимодальная модель RuCLIP, из архитектуры семейства CLIP, способная преобразовывать текст и изображение (кадр видео) в сопоставимые векторные представления. Данная модель включает два энкодера:

- текстовый энкодер, формирующий эмбединг запроса;
- визуальный энкодер, формирующий эмбединг изображения/кадра.

Модель обучена таким образом, что семантически соответствующие пары «текст–изображение» имеют близкие векторы в общем пространстве признаков. В рамках русскоязычной постановки целесообразно использовать RuCLIP, так как она лучше обрабатывает запросы на русском языке и снижает потери качества, связанные с языковым смещением.

В качестве поискового движка выбирается Elasticsearch, поскольку он обеспечивает промышленный полнотекстовый поиск и поддерживает поиск по плотным векторам kNN, что позволяет хранить метаданные и векторные признаки в одном индексе и выполнять поиск по ним в единой инфраструктуре.

Алгоритма работы текстового поиска по медиаконтенту заключается в следующем:

После получения пользовательского запроса q , вводимого через интерфейс поиска, где запрос представляет собой строку на естественном языке и может содержать орфографические ошибки, опечатки, различные формы слов. Далее выполняется исправление опечаток и нормализация запроса, в результате чего формируется скорректированная версия запроса q' . Этот этап направлен на повышение полноты и устойчивости поиска, поскольку уменьшает вероятность пропуска релевантного контента из-за неправильного написания слов.

На рисунке 1 представлена диаграмма последовательности алгоритма работы поиска

Следующим этапом является определение полей для поиска и режима обработки запроса. Выбираются поля индекса, по которым будет выполняться поиск: по текстовым описаниям или гибридный подход. Если выбран режим гибридный поиск, выполняется векторизация запроса: запрос q' преобразуется в вектор $v(q')$ посредством текстового энкодера мультимодальной модели RuCLIP. Полученный вектор используется как вход для поиска ближайших соседей в векторном индексе. Далее формируется и выполняется обращение к Elasticsearch, включающее текстовую часть запроса и векторную часть, а также параметры ранжирования. В результате Elasticsearch возвращает список кандидатов с оценками релевантности.

Заключительным этапом является формирование ответа: выполняется постобработка результатов и формирование выдачи возвращается в интерфейс Top-10 релевантных видео и отображается пользователю.

Таким образом, алгоритм обеспечивает последовательную обработку запроса и формирование итоговой выдачи, учитывающей как текстовые признаки, так и признаки, характеризующие визуальное содержание видеоряда через мультимодальные эмбединги.

При тестировании полученных результатов разработанный подход к текстовому поиску по медиаконтенту с использованием гибридного подхода, включающего как текстовый, так и векторный подход показал улучшение качества релевантности поисковой выдачи на 23 % по сравнению с рассматриваемыми аналогами, что подтверждает практическую применимость и устойчивость результатов.

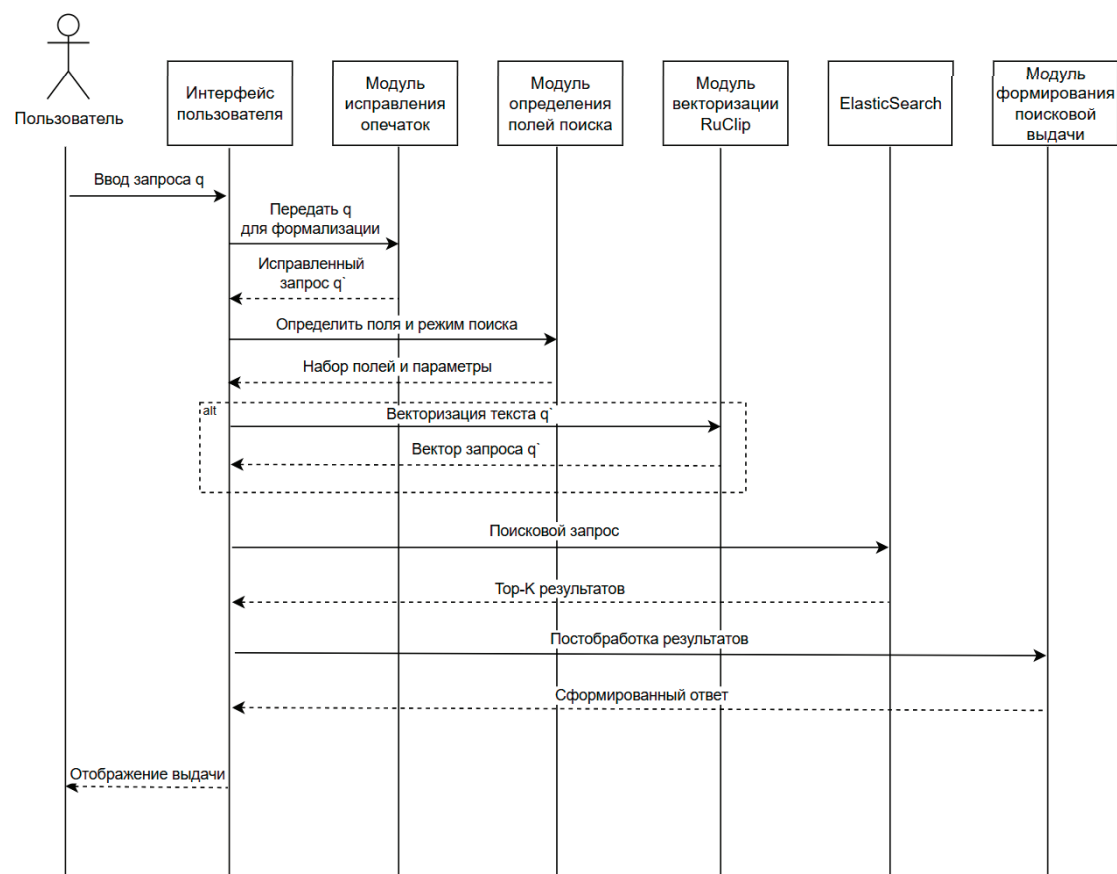


Рис. 1. Диаграмма последовательностей методики работы поиска

Литература:

1. Документация CLIP. — Текст: электронный // openai.com: [сайт]. — URL: <https://openai.com/index/clip/> (дата обращения: 18.05.2026).

2. Емельянов, А. А. Мультимодальная модель для русского языка / А. А. Емельянов. — Текст: электронный // habr.com: [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/sberdevices/articles/564440/> (дата обращения: 18.05.2026).

Разработка программного модуля алгоритмов вычислительной геометрии

Силантьев Михаил Васильевич, студент;
Бозюкова Лилия Сергеевна, студент
Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (г. Зеленоград)

В статье рассматривается программный модуль ПМ АВГ, предназначенный для выполнения булевых операций над полигональными структурами при подготовке топологических данных фотошаблонов. Описаны архитектура модуля, особенности алгоритмов вычислительной геометрии и результаты тестирования производительности.

Ключевые слова: вычислительная геометрия, булевы операции, полигоны, C++, GDSII, микроэлектроника, подготовка фотошаблонов.

Введение

Современные системы проектирования микроэлектроники оперируют огромными объемами геометрических данных. На этапе подготовки фотошаблонов выпол-

няются операции объединения, пересечения и вычитания полигонов, определяющие корректность топологии будущих интегральных схем. Использование существующих открытых решений не всегда обеспечивает необходимую производительность при работе с многомиллионными на-

борами вершин [1, с. 12]. В связи с этим была поставлена задача разработки специализированного программного модуля вычислительной геометрии, ориентированного на высокую скорость обработки данных и возможность интеграции в отечественные САПР.

Основная часть

ПМ АВГ представляет собой вычислительное ядро, реализованное на языке C++. Модуль функционирует как динамическая библиотека и взаимодействует с внешними приложениями через C-совместимый интерфейс. Такой подход обеспечивает возможность использования модуля из Python, Ruby и других языков программирования посредством механизма FFI. Основной задачей ПМ АВГ является выполнение булевых операций над полигональными регионами: объединения, пересечения, разности и симметрической разности.

Алгоритм обработки данных основан на методе замещающей прямой. На первом этапе определяется множество точек пересечения ребер. После этого выполняется маркировка сегментов и формирование результирующих контуров в зависимости от выбранной операции. Для хранения координат используются 64-битные целочисленные значения, что исключает ошибки округления и обеспечивает высокую точность при работе с нанометровой сеткой [2, с. 45].

Особое внимание при разработке уделялось вопросам производительности. В отличие от универсальных библиотек, модуль ориентирован на обработку крупных массивов данных с минимальными накладными расходами памяти. Применение контейнеров стандартной библиотеки C++ и отказ от автоматической сборки мусора позволили обеспечить предсказуемое время отклика даже при выполнении сложных операций над большими наборами полигонов.

Для проверки корректности реализации использовался фреймворк GoogleTest. Модульное тестирование включало проверку операций над самопересекающимися полигонами, коллинеарными ребрами и вырожденными контурами. Интеграционное тестирование проводилось через Python-обертку с использованием ctypes. Дополнительно применялись инструменты Valgrind и clang-tidy для выявления утечек памяти и потенциально опасных конструкций.

Результаты

Экспериментальная апробация ПМ АВГ проводилась на тестовых топологических слоях, содержащих до одного миллиона вершин. В ходе испытаний модуль продемонстрировал стабильную обработку булевых операций при среднем потреблении памяти около 462 Мб. По сравнению с рядом открытых решений наблюдалось сокращение вре-

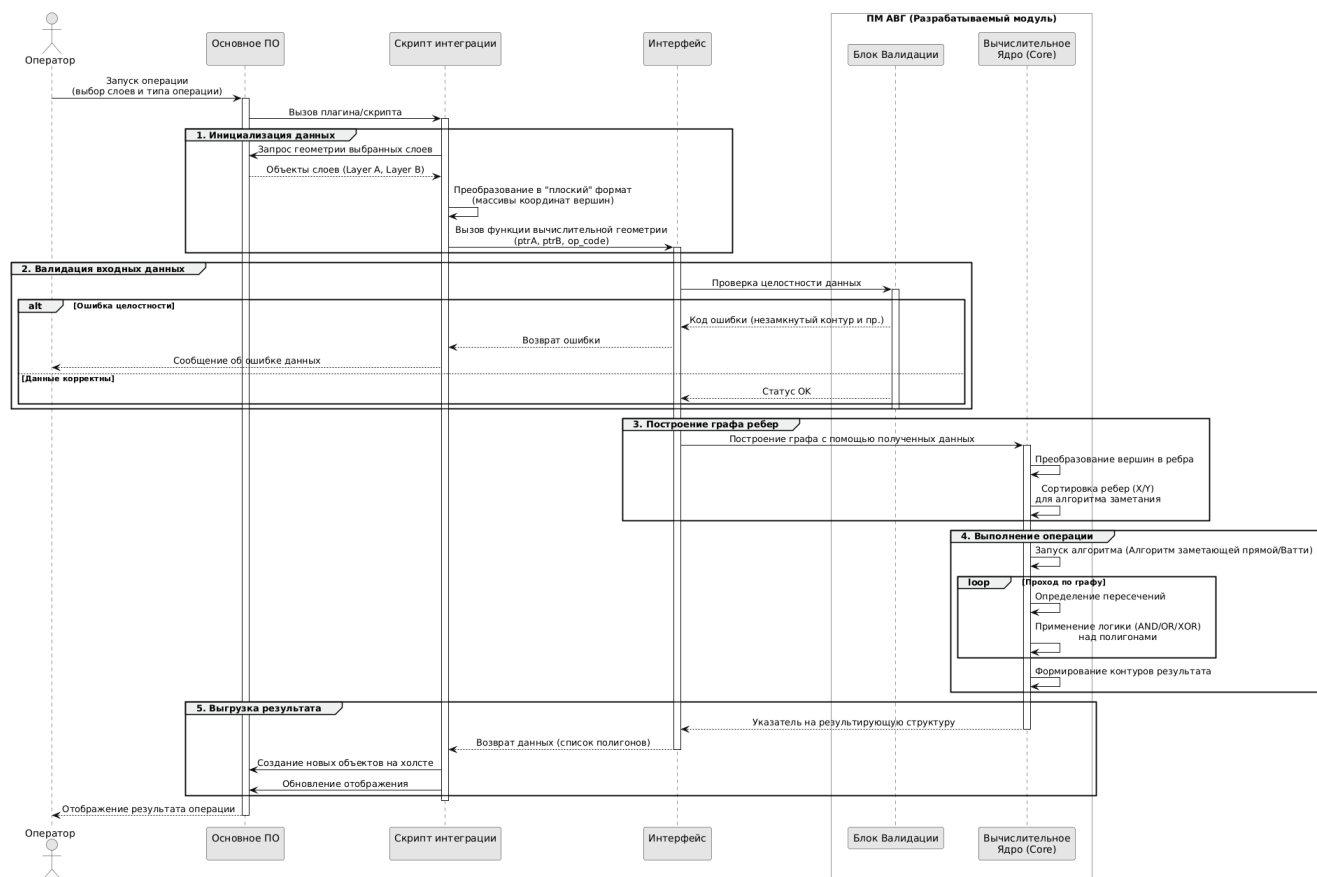


Рис. 1. Архитектура взаимодействия ПМ АВГ с внешними системами

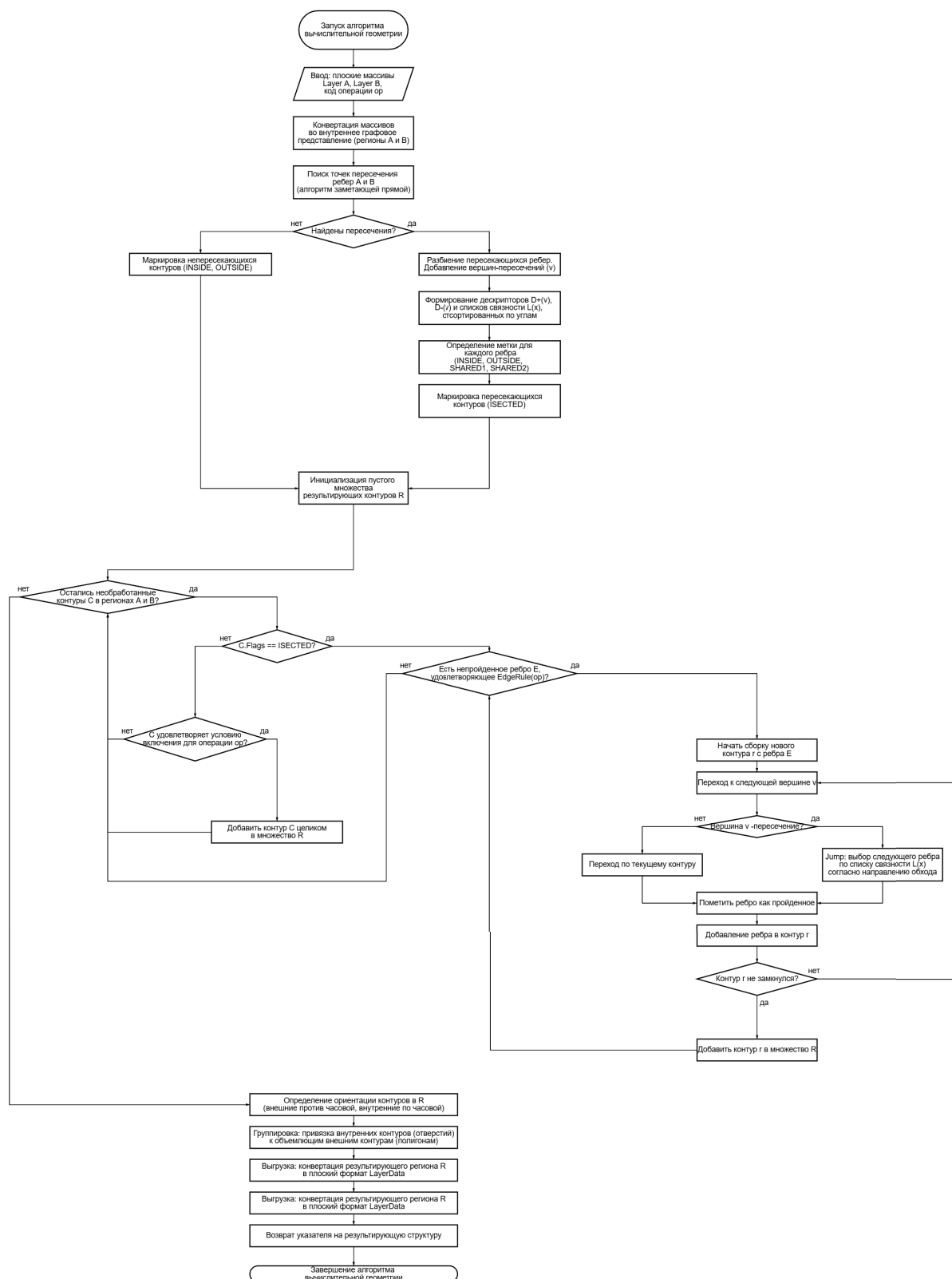


Рис. 2. Схема алгоритма выполнения ПМ АВГ

мени обработки и повышение стабильности работы при выполнении многопоточных вычислений. Полученные результаты подтверждают возможность использования ПМ АВГ в составе отечественных систем подготовки фотошаблонов.

Заключение

Разработанный программный модуль ПМ АВГ решает задачу выполнения булевых операций над полигональными структурами в условиях высокой нагрузки

и больших объемов данных. Использование языка C++, эффективных алгоритмов вычислительной геометрии и оптимизированных структур данных позволило добиться высокой производительности и обеспечить возможность

интеграции модуля в существующие программные комплексы. Практические испытания подтвердили корректность работы и перспективность применения модуля в задачах микроэлектронного производства.

Литература:

1. Леонов М. В., Никитин А. Г. Алгоритмы булевых операций над многоугольниками. — Москва: Наука, 2021.
2. Computational Geometry in CAD Systems // Springer Publishing, 2022.
3. Официальная документация GoogleTest [Электронный ресурс].
4. Stroustrup B. The C++ Programming Language. — Addison-Wesley, 2013.

Архитектура метаданных, статистика и механизмы отброса данных в Apache Iceberg при использовании Apache Spark 3.5

Степанов Никита Станиславович, студент;

Тарасов Дмитрий Александрович, студент;

Кузьмина Ксения Алексеевна, студент

Научный руководитель: Гостищев Станислав Сергеевич, преподаватель

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

В статье рассматриваются особенности архитектуры хранения метаданных и статистики в Apache Iceberg при использовании Apache Spark 3.5. Проведён анализ взаимодействия физических и логических уровней хранения данных на основе форматов Parquet и Iceberg, а также исследованы механизмы многоуровневого отброса данных (Data Pruning), обеспечивающие снижение объёма операций ввода-вывода и повышение производительности аналитических запросов. Особое внимание уделено влиянию статистики на работу Cost-Based Optimizer и Adaptive Query Execution в Spark, проблемам деградации производительности при фрагментации метаданных и накоплении малых файлов, а также особенностям применения позиционных и логических файлов удалений в транзакционных озёрах данных. В работе рассмотрены основные стратегии обслуживания метаданных и оптимизации Iceberg-таблиц, необходимые для поддержания высокой эффективности распределённых аналитических систем.

Ключевые слова: Apache Iceberg, Apache Spark, Parquet, озёра данных, метаданные, Data Pruning, Cost-Based Optimization, Adaptive Query Execution, Puffin, транзакционные озёра данных, оптимизация запросов, columnar storage, big data.

Технологическая парадигма построения озёр данных в последние годы существенно изменилась благодаря развитию открытых табличных форматов. Одним из наиболее значимых решений в этой области стал Apache Iceberg, представляющий собой архитектурный подход к управлению данными на уровне отдельных файлов, а не директорий. Такой подход обеспечивает изоляцию снимков (Snapshot Isolation), поддержку эволюции схемы данных и независимость от конкретного вычислительного движка. В сочетании с Apache Spark версии 3.5 и выше Iceberg версии 1.8+ фактически превратился в стандарт для высоконагруженных аналитических платформ.

При этом производительность подобной инфраструктуры напрямую определяется эффективностью механизмов сбора, хранения и использования статистики о данных. Существенную роль играет способность планировщика запросов минимизировать объёмы операций ввода-вывода за счёт интеллектуального отброса нерелевантных данных. В связи с этим особую актуальность приобретает анализ того, каким образом Iceberg организует хранение метаданных, как Spark использует накопленную статистику и какие факторы приводят к деградации производительности.

Настоящая работа посвящена исследованию архитектуры хранения статистики в Apache Iceberg, анализу механизмов многоуровневого отброса данных (Data Pruning), а также рассмотрению особенностей применения файлов удалений (Delete Files). Отдельное внимание уделяется проблемам производительности, возникающим при отсутствии статистики либо при чрезмерном накоплении метаданных.

Архитектура хранения статистики: симбиоз Parquet и Iceberg

Apache Iceberg не является самостоятельным форматом хранения данных в традиционном понимании. Он представляет собой слой управления метаданными, работающий поверх физических форматов хранения, наиболее распростра-

нённым из которых является Apache Parquet. В результате система хранения строится по двухуровневому принципу: физический уровень отвечает за размещение данных и базовой статистики внутри файлов, а логический уровень обеспечивает централизованное управление метаданными на уровне всей таблицы.

Физический уровень: внутренняя статистика Apache Parquet

Apache Parquet представляет собой колоночный формат хранения, ориентированный на высокую степень сжатия и минимизацию объёма считываемых данных. Одним из ключевых преимуществ формата является его самоописываемость: каждый файл содержит не только данные, но и схему, а также статистические сведения о содержимом. Эта информация располагается в футере (footer) файла, что позволяет вычислительным системам обращаться к статистике без необходимости последовательного чтения всего содержимого.

Внутренняя структура Parquet основана на разделении данных на группы строк (Row Groups), типичный размер которых составляет от 64 до 128 МБ. Для каждой колонки внутри такой группы автоматически вычисляются минимальные и максимальные значения, количество null-элементов и общее число записей. Дополнительно современные реализации поддерживают Column Indexes — индексы столбцов на уровне отдельных страниц данных (Data Pages), размер которых обычно составляет около 1 МБ. Ещё одним механизмом ускорения фильтрации выступают фильтры Блума (Bloom Filters), позволяющие с высокой вероятностью определить отсутствие конкретного значения в блоке данных.

Несмотря на высокую эффективность подобной статистики, её основное ограничение заключается в локальности. Spark может использовать статистику Parquet только после открытия файла и чтения его футера. В условиях озёр данных, содержащих миллионы файлов в распределённом облачном хранилище, подобная операция приводит к значительным накладным расходам на сетевые обращения. В результате возникает эффект «узкого места метаданных» (metadata bottleneck), при котором время планирования запросов начинает превышать время непосредственного выполнения вычислений.

Логический уровень: перенос статистики в метаданные Iceberg

Для устранения проблемы массового чтения футеров Parquet Apache Iceberg поднимает критически важную статистику на уровень логической таблицы. Во время записи данных система извлекает статистические сведения из файлов Parquet и агрегирует их в собственных метаданных. Архитектура метаданных Iceberg организована в виде направленного ациклического графа (DAG), что позволяет Spark строить планы выполнения запросов, практически не обращаясь к физическим данным.

Основными компонентами метаданных Iceberg являются Metadata File, Manifest List и Manifest File. Их назначение и роль в архитектуре хранения статистики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Компоненты метаданных Iceberg

Компонент	Формат	Роль в хранении статистики
Metadata File	JSON	Хранит глобальную схему таблицы, конфигурации партиционирования и идентификатор текущего снимка. Не содержит статистики по данным.
Manifest List	Avro	Агрегирует все манифесты снимка и хранит диапазоны значений ключей партиционирования (min/max bounds).
Manifest File	Avro	Отслеживает файлы данных Parquet и дублирует статистику из футеров: min/max, количество null/NaN, число записей для каждой колонки.

Благодаря подобной архитектуре Iceberg устраняет необходимость прямого листинга директорий хранилища и позволяет Spark выполнять фильтрацию файлов на уровне метаданных. Это особенно важно в распределённых облачных системах, где стоимость операций доступа к объектному хранилищу может становиться критическим фактором производительности.

Формат Puffin и расширенная статистика

Базовая статистика min/max эффективна при фильтрации диапазонов, однако её недостаточно для работы Cost-Based Optimizer (CBO), которому необходима информация о кардинальности данных. Для решения данной задачи в экосистеме Iceberg был разработан формат Puffin — специализированный бинарный контейнер для хранения расширенной статистики.

В качестве механизма оценки количества уникальных значений (NDV, Number of Distinct Values) используется алгоритм Theta Sketch из библиотеки Apache DataSketches. В отличие от HyperLogLog, данный алгоритм поддерживает операции пересечения множеств, что особенно важно при оценке селективности предикатов и оптимизации соединений таблиц.

Статистика NDV формируется посредством процедуры `system.compute_table_stats` и используется Spark для определения наиболее эффективного порядка выполнения операций Join. Наличие актуальных Puffin-файлов существенно повышает качество решений, принимаемых оптимизатором Catalyst.

Деградация производительности и влияние статистики

Проблемы производительности в связке Apache Iceberg и Spark 3.5 проявляются неоднородно. В одних случаях система страдает из-за недостатка статистической информации, в других — из-за чрезмерного накопления метаданных и фрагментации файлов. Оба сценария приводят к существенному ухудшению эффективности выполнения запросов.

Отсутствие статистики и ошибки Cost-Based Optimization

Оптимизатор Catalyst использует механизм Cost-Based Optimization при включённом параметре `spark.sql.cbo.enabled=true`. Если статистика NDV отсутствует, Spark вынужден опираться исключительно на общее количество строк, указанное в манифестах. В подобных условиях оптимизатор часто выбирает неоптимальный порядок соединений.

Например, при выполнении запроса, объединяющего таблицу фактов объёмом 100 млн строк и две таблицы изменений размером 2 млн и 1 млн строк соответственно, Catalyst может принять решение сначала соединить две меньшие таблицы. Формально такой выбор выглядит логичным, однако при низкой кардинальности ключей соединения возникает эффект, близкий к декартову произведению. В результате объём промежуточных данных возрастает до сотен миллионов записей, что приводит к масштабному Shuffle, переполнению памяти исполнителей и возникновению ошибок типа OutOfMemory.

Даже при наличии Puffin-файлов интеграция Spark 3.5 с Iceberg не всегда работает идеально. В ряде случаев Cost-Based Optimizer некорректно извлекает статистику `distinct_count` из файлов `stat`, несмотря на успешное чтение аналогичной статистики из стандартных Parquet-таблиц. Хотя Adaptive Query Execution частично компенсирует подобные проблемы, начальный этап планирования всё равно остаётся субоптимальным.

Инфляция метаданных и фрагментация

Не менее серьёзной проблемой является неконтролируемый рост объёма метаданных. В условиях потоковой обработки данных Spark Structured Streaming может генерировать десятки тысяч файлов ежемесячно. Например, при записи данных с минутным интервалом количество файлов за месяц превышает 43 000. В подобных условиях затраты на чтение манифестов и применение фильтров становятся настолько высокими, что стадия планирования начинает занимать больше времени, чем непосредственное выполнение вычислений.

Дополнительные сложности возникают из-за фрагментации манифестов. Если диапазоны партиций внутри Manifest Files существенно перекрываются, глобальный механизм отброса данных теряет эффективность. Ещё одной проблемой становится раздувание истории снимков: при отсутствии очистки файл `metadata.json` может достигать сотен мегабайт, создавая значительную нагрузку на драйвер Spark при десериализации.

Основные причины деградации производительности и соответствующие стратегии предотвращения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Причины деградации и стратегии предотвращения

Причина	Симптомы	Фаза Spark	Стратегия предотвращения
Отсутствие NDV	Неоптимальный Join Reordering, чрезмерный Shuffle	Execution	Использование <code>compute_table_stats</code> для генерации Puffin-файлов
Малые файлы	Высокая задержка I/O, длительный запуск Job	Planning / Scan	Компактизация через <code>rewrite_data_files</code>
Фрагментация манифестов	Снижение эффективности отброса партиций	Planning	Дефрагментация через <code>rewrite_manifests</code>
Раздувание истории	Рост времени чтения метаданных, перегрузка драйвера	Catalog	Очистка с помощью <code>expire_snapshots</code> и <code>remove_orphan_files</code>

Для предотвращения деградации применяются специализированные процедуры обслуживания. Генерация Puffin-файлов посредством `compute_table_stats` позволяет поддерживать актуальную статистику NDV. Процедура `rewrite_data_files` используется для компактизации мелких файлов, `rewrite_manifests` — для дефрагментации Avro-манифестов, а `expire_snapshots` и `remove_orphan_files` — для очистки устаревших версий таблиц и удаления неиспользуемых файлов.

Механизмы многоуровневого отброса данных (Data Pruning)

Высокая производительность Iceberg-таблиц достигается за счёт многоуровневого механизма отброса данных, позволяющего избегать чтения нерелевантных файлов и блоков ещё на этапе планирования запроса. По мере продвижения предикатов от драйвера к исполнителям уровень детализации анализа последовательно увеличивается.

Отброс списков манифестов (Manifest List Pruning)

Первый уровень отброса данных выполняется на драйвере и основан на анализе Manifest List — компактного Avro-файла размером всего в несколько десятков килобайт. Планировщик Spark считывает диапазоны партиций для каждого манифеста и исключает те из них, диапазоны которых не пересекаются с условием запроса.

Ключевым преимуществом данного механизма является поддержка скрытого партиционирования (Hidden Partitioning). Пользователю не требуется явно указывать производный столбец партиции в SQL-запросе: Iceberg самостоятельно вычисляет трансформацию и применяет её к диапазонам партиций. В корректно спроектированных таблицах этот уровень способен отсекают до 95 % метаданных практически мгновенно.

Отброс файлов манифестов (Manifest File Pruning)

На следующем этапе Spark открывает прошедшие фильтрацию Manifest Files и анализирует статистику отдельных файлов данных. Для каждого файла проверяются минимальные и максимальные значения колонок, количество null-значений и другие характеристики.

Эффективность данного механизма напрямую зависит от физической организации данных. При сортировке таблиц по колонкам фильтрации, например, с использованием ORDER BY или Z-Ordering, диапазоны min/max становятся существенно уже, что позволяет отбрасывать большую часть файлов без обращения к физическим данным. Если же данные распределены хаотично, диапазоны значений начинают сильно перекрываться, а эффективность отброса резко снижается.

Отброс групп строк (Row Group Pruning)

Файлы, не исключённые на уровне метаданных Iceberg, передаются исполнителям Spark для физического чтения. Векторизованный Parquet-читатель обращается к футеру файла и анализирует статистику каждой группы строк.

Например, если запрос содержит условие `amount > 100`, а максимальное значение в конкретной Row Group равно 50, соответствующая группа строк полностью пропускается. Благодаря этому Spark избегает декомпрессии и материализации ненужных данных, снижая нагрузку на процессор и подсистему памяти.

Отброс страниц Parquet (Page Index Pruning)

Наиболее глубокий уровень оптимизации связан с использованием Column Indexes в формате Parquet. Данный механизм позволяет анализировать статистику отдельных страниц данных размером около 1 МБ внутри группы строк.

При наличии локальной сортировки Spark способен отбрасывать отдельные страницы без чтения всей группы строк. В сочетании с фильтрами Блума подобный подход обеспечивает практически минимально возможный объём физического сканирования данных.

Применение файлов удалений (Delete Files)

В транзакционных озёрах данных операции UPDATE, DELETE и MERGE INTO реализуются двумя основными подходами: Copy-on-Write (CoW) и Merge-on-Read (MoR). В первом случае происходит полная перезапись файлов данных, тогда как во втором используются специализированные файлы удалений. Spark 3.5 ориентирован преимущественно на использование Merge-on-Read как более эффективного механизма для потоковых сценариев обработки данных.

Позиционные удаления (Positional Deletes)

В спецификации Iceberg v2 были введены позиционные файлы удалений. Они представляют собой Parquet-файлы, содержащие пары значений: путь к файлу данных и номер строки внутри него.

Во время выполнения запроса Spark сопоставляет файлы данных с соответствующими файлами удалений. На стороне исполнителей формируется битовая маска (bitmap), используемая в процессе векторизованного чтения Parquet. Если номер строки присутствует в маске, запись отбрасывается без материализации.

Однако накопление большого количества позиционных файлов удалений приводит к серьёзной деградации производительности. Например, наличие 10 000 файлов удалений вынуждает Spark выполнять тысячи дополнительных операций открытия файлов, чтения метаданных и построения структур в памяти. Без регулярной компактизации производительность системы начинает снижаться экспоненциально.

Удаления по равенству (Equality Deletes)

При обработке CDC-потоков, когда физическое местоположение строки заранее неизвестно, применяются Equality Deletes. Вместо хранения позиции строки такие файлы содержат логические условия удаления, например `id = 50`.

Механизм работы Equality Deletes отличается от позиционных удалений. Spark формирует из файла удалений хеш-таблицу, после чего базовые данные проходят через Hash Join с операцией Anti-Join. Если ключ строки присутствует в таблице удалений, соответствующая запись исключается из результата.

Подобный подход с использованием Equality Deletes наиболее характерен для сценариев потоковой обработки (Streaming). При записи данных в реальном времени основной приоритет отдается пропускной способности записи. Это избавляет систему от необходимости выполнять дорогостоящую операцию поиска в существующих данных во время записи для поиска строки удаления.

Стриминг мгновенно фиксирует удаление, создавая небольшой файл со списком ключей.

Интеграция статистики и оптимизация соединений в Spark 3.5

Adaptive Query Execution (AQE)

Начиная с версии Spark 3.2, механизм Adaptive Query Execution включён по умолчанию и играет важную роль в компенсации ошибок предварительного планирования. В отличие от статического Cost-Based Optimization, AQE способен динамически корректировать план выполнения уже в процессе работы.

В интеграции с Iceberg данный механизм предоставляет ряд преимуществ. Во-первых, AQE автоматически объединяет мелкие партиции после Shuffle. Во-вторых, система способна выявлять перекосы распределения данных (Skew Join Optimization) и перераспределять «тяжёлые» ключи. В-третьих, Spark может адаптивно изменять тип соединения, например, переключаясь с Sort-Merge Join на Broadcast Hash Join при обнаружении небольшого фактического размера одной из таблиц.

Тем не менее AQE не устраняет все проблемы производительности. В сценариях интенсивной потоковой записи даже адаптивное планирование часто требует дополнительной ручной настройки и обслуживания метаданных.

Storage Partitioned Joins (SPJ)

Одной из наиболее эффективных технологий Spark 3.5 и Iceberg 1.8+ является механизм Storage Partitioned Join (SPJ), позволяющий полностью устранить Shuffle при соединении таблиц.

Если две таблицы физически бакетированы по ключу соединения, Spark назначает обработку соответствующих сегментов одному исполнителю, выполняя локальное соединение без перераспределения данных по сети. Для использования данного механизма необходимо активировать параметры `spark.sql.sources.v2.bucketing.enabled=true` и `spark.sql.iceberg.planning.preserve-data-grouping=true`. Последний параметр предотвращает разделение файлов одной физической партиции между различными задачами чтения.

Использование SPJ позволяет значительно снизить сетевые накладные расходы и ускорить выполнение сложных аналитических запросов.

Выводы и стратегии обслуживания метаданных

Архитектура статистики в экосистеме Apache Spark 3.5 и Apache Iceberg представляет собой компромисс между затратами на управление метаданными и преимуществами интеллектуальной оптимизации чтения. При отсутствии ста-

тики Cost-Based Optimizer теряет возможность корректно планировать соединения, что приводит к взрывному росту промежуточных данных. С другой стороны, чрезмерное накопление метаданных и мелких файлов вызывает деградацию стадии планирования запросов.

Для поддержания высокой производительности необходим системный подход к обслуживанию озера данных. Одним из ключевых мероприятий является регулярная компактизация данных и позиционных файлов удалений посредством процедур `rewrite_data_files` и `rewrite_position_delete_files`. Это позволяет объединять мелкие файлы в крупные блоки размером 128–512 МБ и восстанавливать эффективность механизмов Data Pruning.

Не менее важной задачей выступает дефрагментация манифестов с помощью процедуры `rewrite_manifests`, устраняющей перекрытие диапазонов значений и повышающей эффективность глобального отброса данных. Для предотвращения разрастания истории таблиц используются процедуры `expire_snapshots` и `remove_orphan_files`, обеспечивающие удаление устаревших версий и неиспользуемых файлов.

Наконец, критически важным условием корректной работы Cost-Based Optimizer является регулярное обновление расширенной статистики посредством `compute_table_stats`. Поддержание актуальных Puffin-файлов с Theta Sketches позволяет Spark более точно оценивать селективность запросов и выбирать оптимальные стратегии выполнения соединений.

Таким образом, эффективная эксплуатация Apache Iceberg требует не только правильной организации хранения данных, но и постоянного контроля состояния метаданных. Только комплексное обслуживание статистики, манифестов и файлов удалений позволяет полностью реализовать преимущества архитектуры Iceberg в высоконагруженных аналитических системах.

Литература:

1. Zaharia M., Chowdhury M., Das T. et al. Apache Spark: A Unified Engine for Big Data Processing // Communications of the ACM. — 2016. — Vol. 59, № 11. — P. 56–65.
2. Melnik S., Gubarev A., Long J. et al. Dremel: Interactive Analysis of Web-Scale Datasets // Proceedings of the VLDB Endowment. — 2010. — Vol. 3, № 1–2. — P. 330–339.
3. Apache Iceberg Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://iceberg.apache.org/docs/latest/> (дата обращения: 15.05.2026).
4. Apache Parquet Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://parquet.apache.org/docs/> (дата обращения: 15.05.2026).
5. Armbrust M., Ghodsi A., Xin R. et al. Delta Lake: High-Performance ACID Table Storage over Cloud Object Stores // Proceedings of the VLDB Endowment. — 2020. — Vol. 13, № 12. — P. 3411–3424.
6. Yorgev Y. Making Sense of Apache Iceberg Statistics [Электронный ресурс] // Medium. — Режим доступа: <https://www.ryft.io/blog/making-sense-of-apache-iceberg-statistics/> (дата обращения: 15.05.2026).
7. Adaptive Query Execution: Speeding Up Spark SQL at Runtime [Электронный ресурс] // Databricks Blog. — Режим доступа: <https://www.databricks.com/blog/2020/05/29/adaptive-query-execution-speeding-up-spark-sql-at-runtime.html/> (дата обращения: 15.05.2026).
8. Puffin Specification [Электронный ресурс] // Apache Iceberg Documentation. — Режим доступа: <https://iceberg.apache.org/puffin-spec/> (дата обращения: 15.05.2026).
9. Optimization Strategies for Iceberg Tables [Электронный ресурс] // Cloudera Blog. — Режим доступа: <https://www.cloudera.com/blog/technical/optimization-strategies-for-iceberg-tables.html/> (дата обращения: 15.05.2026).
10. Best Practices for Optimizing Apache Iceberg Performance [Электронный ресурс] // Starburst. — Режим доступа: <https://www.starburst.io/blog/best-practices-for-optimizing-apache-iceberg-performance/> (дата обращения: 15.05.2026).

Разработка архитектуры распределённого хранения неструктурированных сеток для программного комплекса MARPLE3D

Ходиев Саидюсуф Мирзоалиевич, студент

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

В задачах математической физики — радиационной магнитогидродинамики, гидродинамики, теплопроводности — широко применяются неструктурированные расчётные сетки. Такие сетки не накладывают ограничений на форму ячеек и допускают локальное измельчение в зонах повышенного интереса. Рост размера сеток до

миллионов элементов при решении крупномасштабных задач делает невозможной обработку на последовательных вычислительных архитектурах и требует перехода к параллельным распределённым вычислениям на системах с раздельной памятью.

Программный комплекс MARPLE3D, разработанный в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, реализует вычисления на неструктурированных сетках для задач радиационной МГД [1]. Центральным элементом его сеточной инфраструктуры является система хранения бинарных отношений инцидентности между элементами сетки — классы OrntRelation (ориентированное отношение) и relation (неориентированное). Оба класса используют формат сжатых строк (CSR): массив `p_array` задаёт смещения, массив `e_array` — значения образов. При ориентированном хранении знак значения кодирует направление инцидентности.

В бакалаврской работе проведён анализ данных классов и выявлены ограничения существующей реализации. Операции изменения топологии `del_from` и `del_to` реализованы через сдвиг массива `e_array` и имеют сложность $O(n)$, что критично при адаптивном измельчении сетки. Профилирование операции `refineMesh` показало, что указанные методы занимали 34 % суммарного процессорного времени. Кроме того, в методе `read` применялся оператор `goto`, несовместимый со стандартом C++17. Отсутствие двухуровневой нумерации элементов не позволяет организовать прозрачную работу с ghost-элементами при MPI-разбиении сетки.

В результате оптимизации массив `e_array` типа `std::vector<int>` заменён на `std::vector<std::forward_list<int>>` — массив односвязных списков. Это обеспечивает $O(1)$ сложность операций вставки и удаления вместо $O(n)$ при сдвиге массива. Оператор `goto` в методе `read` заменён на два явных ранних `return` с вызовом метода `reset()`. Публичный интерфейс классов сохранён полностью: весь вызывающий код MARPLE3D работает без изменений. Тестирование на операции `refineMesh` (сетка $3,16 \times 10^4$ элементов, 5 запусков, стенд: AMD Ryzen 5, GCC 12.3 -O2) подтвердило снижение времени с 55,1 с до 44,6 с — ускорение $1,24 \times (-19,1 \%)$.

Таблица 1. Сложность ключевых операций до и после оптимизации

Операция	Исходная реализация (CSR)	Оптимизированная (forward_list)
Доступ к i-му списку образов	$O(1)$	$O(1)$
Вставка нового образа	$O(n)$	$O(1)$
Удаление образа (del_to)	$O(n)$	$O(k), k \ll n$
Удаление источника (del_from)	$O(n)$	$O(1)$

Для поддержки распределённых параллельных вычислений разработана архитектура трёх взаимосвязанных классов, надстраивающихся над оптимизированными OrntRelation и relation. Класс GlobalID реализует двухуровневую нумерацию: преобразование локальный ↔ глобальный индекс выполняется за $O(1)$ без коммуникаций через вектор прямого доступа и хэш-таблицу; глобальное смещение вычисляется однократно через MPI_Scan [2]. Класс GhostZoneManager инкапсулирует декомпозицию сетки через ParMETIS [3] и управление ghost-элементами: метод `decompose()` строит двойственный граф и вызывает ParMETIS_V3_PartKway, метод `sync()` обновляет данные ghost-элементов через неблокирующие операции MPI_Isend / MPI_Irecv / MPI_Waitall, что открывает возможность совмещения коммуникаций с вычислениями. Класс OrntRelationMPI надстраивается над OrntRelation и предоставляет прикладному коду единый прозрачный интерфейс: методы `isGhost(i)`, `isOwned(i)`, `syncGhost(field)`. Общая схема взаимодействия компонентов представлена на рис. 1.

При однопроцессорном запуске система работает идентично исходной реализации: GhostZoneManager::decompose() обрабатывает случай `n_procs = 1` без обращения к ParMETIS, что гарантирует обратную совместимость и позволяет верифицировать корректность результатов сравнением с последовательным расчётом. Оценка коммуникационных накладных расходов: при качественном разбиении число граничных пар $|\partial E| \approx O(N^{2/3})$ для трёхмерных сеток, что значительно меньше общего числа рёбер $|E| \approx O(N)$ — коммуникационная нагрузка растёт медленнее объёма вычислений, что является необходимым условием масштабируемости.

В результате работы решены две взаимосвязанные задачи. Первая — оптимизация последовательной реализации: ускорение `refineMesh` на 19,1 % при полной обратной совместимости. Вторая — разработка архитектуры классов GlobalID, GhostZoneManager и OrntRelationMPI для распределённых вычислений с MPI и ParMETIS, обеспечивающей двухуровневую нумерацию и масштабируемую синхронизацию ghost-элементов. Разработанные решения могут быть применены при модернизации MARPLE3D и аналогичных исследовательских кодов. В дальнейшем планируются реализация классов в полном объёме и вычислительные эксперименты на кластерных системах.

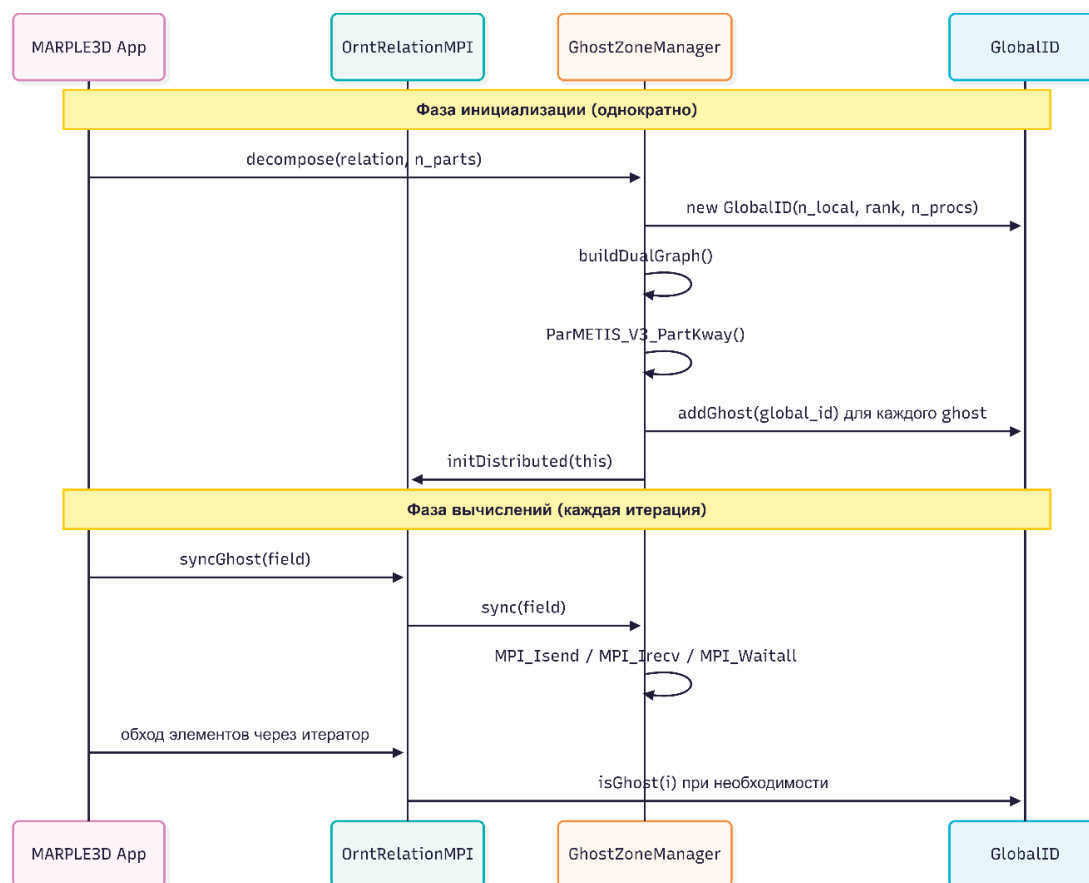


Рис. 1. UML-диаграмма взаимодействия компонентов распределённой архитектуры

Литература:

1. Болдарев А. С., Гасилов В. А., Ольховская О. Г. и др. MARPLE: программное обеспечение для мультифизического моделирования в задачах сплошных сред // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. — 2023. — № 37. — 40 с.
2. Gropp W., Lusk E., Skjellum A. Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface. — 3rd ed. — MIT Press, 2014. — 374 p.
3. Karypis G., Kumar V. A Fast and High-Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs // SIAM Journal on Scientific Computing. — 1998. — Vol. 20, № 1. — P. 359–392.
4. Meyers S. Effective Modern C++. — O'Reilly Media, 2014. — 334 p.
5. Василевский Ю. В. и др. INMOST — программная платформа для разработки параллельных численных моделей на сетках. — М.: Изд-во МГУ, 2013. — 144 с.

Разработка интеллектуальной системы управления для сбора и анализа данных из открытых источников с целью создания рекомендательной системы в сфере туризма

Шадкам Ясин, студент

Научный руководитель: Нугманова Салима Аваскановна, доктор технических наук, доцент
Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы)

В статье рассматривается разработка интеллектуальной гибридной рекомендательной системы в сфере туризма. Предложенная система объединяет методы *content-based filtering*, *collaborative filtering* и анализ пользовательского поведения для формирования персонализированных рекомендаций туристических направлений. Для обработки текстовых

запросов используются алгоритмы TF-IDF и Cosine Similarity. В качестве источников данных применяются открытые туристические наборы данных, а также тестовые пользовательские данные. Система реализована в виде веб-приложения на языке Python с использованием SQLite и библиотеки Scikit-learn. В работе рассмотрены архитектура системы, используемые алгоритмы, методы оценки эффективности и результаты тестирования. Проведённый анализ показывает, что гибридный подход обеспечивает более стабильные и релевантные рекомендации по сравнению с использованием отдельных методов.

Ключевые слова: рекомендательная система, туризм, гибридная модель, TF-IDF, collaborative filtering, анализ текста, искусственный интеллект.

Введение

В последние годы цифровые туристические платформы стали одним из основных источников информации для путешественников. Пользователи получают доступ к большому количеству данных о городах, достопримечательностях, гостиницах, маршрутах и туристических объектах. Однако увеличение объёма информации приводит к проблеме информационной перегрузки, из-за чего пользователям становится сложнее быстро находить подходящие туристические направления.

Для решения данной проблемы активно используются интеллектуальные рекомендательные системы. Такие системы применяются в электронной коммерции, социальных сетях, видеосервисах и туристических платформах [1]. Их основная задача заключается в формировании персонализированных рекомендаций на основе интересов и поведения пользователей.

В туристической сфере рекомендательные системы позволяют учитывать текстовые запросы пользователей, историю просмотров, предпочтения схожих пользователей и поведенческие данные. Наиболее распространёнными подходами являются Content-Based Filtering и Collaborative Filtering [2]. Первый метод анализирует текстовое описание объектов, а второй — поведение пользователей и взаимодействия между ними.

Несмотря на эффективность отдельных моделей, каждая из них имеет ограничения. Content-Based Filtering недостаточно учитывает коллективный опыт пользователей, а Collaborative Filtering сталкивается с проблемой недостатка данных и холодного старта. В связи с этим всё чаще используются гибридные модели, объединяющие преимущества нескольких методов одновременно.

Цель данной работы — разработка гибридной рекомендательной системы для туристической сферы, которая объединяет анализ текста, пользовательское поведение и методы collaborative filtering для повышения качества рекомендаций.

Анализ существующих исследований

Исследования в области рекомендательных систем активно развиваются в течение последних лет. В работе F. Ricci и соавторов [1] рассматриваются основные типы рекомендательных систем, включая collaborative filtering, content-based filtering и гибридные подходы. Авторы отмечают, что гибридные модели позволяют повысить качество рекомендаций и уменьшить влияние проблемы холодного старта.

С. Aggarwal [2] подчёркивает, что collaborative filtering является одним из наиболее распространённых методов персонализации, поскольку учитывает взаимодействие между пользователями и объектами. Однако при недостатке данных точность рекомендаций может снижаться.

В исследованиях, посвящённых обработке текстовых данных, широко применяется алгоритм TF-IDF, позволяющий преобразовывать текстовую информацию в числовую форму [3]. В сочетании с Cosine Similarity данный метод используется для оценки сходства между пользовательским запросом и текстовыми описаниями объектов.

Современные туристические платформы также используют анализ поведения пользователей, включая просмотры, клики и лайки. Подобный подход позволяет определить уровень заинтересованности пользователя и повысить точность рекомендаций.

На основе анализа существующих исследований было принято решение использовать гибридную архитектуру, объединяющую методы анализа текста и пользовательского поведения.

Используемые данные

Для разработки системы использовались открытые туристические наборы данных, структуры которых аналогичны Kaggle и TripAdvisor datasets. Дополнительно применялись синтетические тестовые данные пользователей.

В базе данных хранились:

- названия туристических направлений;

- текстовые описания объектов;
- категории и рейтинги;
- пользовательские действия (view, click, like);
- данные пользователей.

Все данные были предварительно структурированы и загружены в SQLite базу данных.

Основные методы системы

Content-Based Filtering

Метод Content-Based Filtering основан на анализе текстовых описаний туристических объектов. Для обработки текста используется алгоритм TF-IDF, позволяющий определить важность слов в документах [3].

После векторизации текста вычисляется Cosine Similarity между пользовательским запросом и туристическими направлениями. Чем выше значение косинусного сходства, тем более релевантным считается объект.

Collaborative Filtering

Collaborative Filtering основан на анализе поведения пользователей и поиске схожих предпочтений [2]. В системе учитываются действия пользователей:

- просмотр (view);
- клик (click);
- лайк (like).

Для поиска похожих пользователей используется Cosine Similarity между строками пользовательской матрицы взаимодействий.

Анализ пользовательского поведения

Для количественной оценки действий пользователей применяются весовые коэффициенты, представленные в таблице 1.

Таблица 1. **Вес действий пользователя**

Действие	Вес
View	1
Click	4
Like	8

Использование весов позволяет преобразовать поведение пользователя в числовой формат и учитывать уровень заинтересованности.

Архитектура системы

Система реализована в виде веб-приложения и состоит из следующих модулей:

1. пользовательский интерфейс;
2. модуль обработки текста;
3. модуль анализа поведения;
4. рекомендательный модуль;
5. база данных SQLite;
6. административная панель.

Схема работы системы

Пользователь → Ввод запроса → TF-IDF → Cosine Similarity → Анализ поведения → Collaborative Filtering → Гибридная модель → Результат

Используемые технологии

Таблица 2. Используемые технологии

Технология	Назначение
Python	Основная разработка
Flask	Веб-приложение
SQLite	Хранение данных
Pandas	Обработка данных
Scikit-learn	ML-алгоритмы
HTML/CSS	Интерфейс пользователя

Python был выбран благодаря широким возможностям для анализа данных и машинного обучения [4].

Гибридная модель рекомендаций

В разработанной системе используется гибридная модель рекомендаций. Итоговый результат рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Content} \times 0.40 + \text{Collaborative} \times 0.25 + \text{Behavior} \times 0.20 + \text{Age} \times 0.15$$

Где:

- Content — текстовое сходство;
- Collaborative — действия похожих пользователей;
- Behavior — история действий пользователя;
- Age — возрастная корреляция.

Нормализация результатов позволяет избежать доминирования одного из факторов и обеспечить более стабильную работу системы.

Результаты тестирования

Для проверки работоспособности системы использовались тестовые пользовательские запросы и данные о взаимодействии пользователей с туристическими объектами.

Результаты тестирования показали:

- корректную обработку текстовых запросов;
- устойчивую работу гибридной модели;
- улучшение качества рекомендаций по сравнению с использованием только Content-Based Filtering;
- возможность персонализации рекомендаций.

Таблица 3. Сравнение методов рекомендаций

Метод	Преимущества	Недостатки
Content-Based	Анализ текста	Ограниченная персонализация
Collaborative	Учет поведения пользователей	Проблема холодного старта
Hybrid	Более точные рекомендации	Более сложная реализация

Гибридный подход показал наиболее стабильные результаты благодаря объединению нескольких методов одновременно.

Заключение

В ходе исследования была разработана интеллектуальная гибридная рекомендательная система для туристической сферы. В системе были реализованы методы анализа текста, collaborative filtering и анализ пользовательского поведения.

Разработанная модель позволяет формировать персонализированные рекомендации на основе текстовых запросов, действий пользователей и поведенческих данных. Для обработки текстовой информации использовались алгоритмы TF-IDF и Cosine Similarity, а для анализа взаимодействий пользователей — collaborative filtering.

В работе были использованы открытые туристические данные и тестовые пользовательские данные, что позволило сформировать структуру базы данных и протестировать работу системы в различных сценариях.

Результаты тестирования показали, что использование гибридного подхода позволяет повысить релевантность рекомендаций по сравнению с использованием отдельных методов. Кроме того, система обладает расширяемой архитектурой и может быть интегрирована с внешними API и онлайн туристическими платформами.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения подобных систем в туристических веб-сервисах, системах бронирования и интеллектуальных платформах персонализированных рекомендаций.

Литература:

1. Ricci F, Rokach L., Shapira B. Recommender Systems Handbook. — Springer, 2015.
2. Aggarwal C. Recommender Systems: The Textbook. — Springer, 2016.
3. Manning C., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. — Cambridge University Press, 2008.
4. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras and TensorFlow. — O'Reilly Media, 2019.
5. Burke R. Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments // User Modeling and User-Adapted Interaction. — 2002.
6. Adomavicius G., Tuzhilin A. Toward the Next Generation of Recommender Systems // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. — 2005.
7. Salton G., Buckley C. Term-weighting approaches in automatic text retrieval // Information Processing & Management. — 1988.
8. Schafer J., Konstan J., Riedl J. Recommender Systems in E-Commerce // ACM Conference on Electronic Commerce. — 1999.
9. Zhang Y., Chen X. Explainable Recommendation: A Survey and New Perspectives // Foundations and Trends in Information Retrieval. — 2020.
10. Koren Y., Bell R., Volinsky C. Matrix Factorization Techniques for Recommender Systems // IEEE Computer. — 2009.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Анализ воздействия изменения климата на сельскохозяйственные угодья Енбекшиказахского района

Жумагул Нурболат Бакытжанулы, студент магистратуры

Научный руководитель: Байгулин Жаксыбек Джакупбекович, доктор технических наук, профессор
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

В статье проанализировано влияние изменения климата на сельскохозяйственные угодья Енбекшиказахского района Алматинской области. Для этого были использованы климатические данные последних лет, материалы полевых наблюдений и расчеты международных проектов. В связи с изменением климата выявлены три основные тенденции: стабильный рост среднегодовой температуры, частые экстремальные погодные явления и неравномерное распространение осадков на всей территории. Основной проблемой местного сельского хозяйства стал дефицит воды, особенно в летние месяцы. Строительство каскадно-регулирующих прудов и мероприятия в рамках проекта JALYIM позволили увеличить водообеспечение, вернуть в оборот бесхозные земли и повысить урожайность основных культур. В районе пришли к выводу, что адаптация сельского хозяйства требует комплексных решений.

Ключевые слова: изменение климата, сельское хозяйство, Енбекшиказахский район, водные ресурсы, засуха, продуктивность, адаптация, пастбищное хозяйство, орошение, климатические риски

Введение

Енбекшиказахский район расположен в Алматинской области Казахстана и занимает площадь 8300 км². Административный центр — город Есик. Зона имеет сложный рельеф. Южная и восточная части — горные, северная — равнинная (долина Или) степная. Климат региона — резко континентальный. Средняя температура января — от -6 до -10 °С, июля — от +20 до +24 °С [1]. Сельское хозяйство является основным сектором экономики региона. Однако, как и многие сельскохозяйственные регионы мира, Енбекшиказахский регион сталкивается с растущим влиянием изменения климата. Целью данного исследования является анализ наблюдаемого и прогнозируемого воздействия изменения климата на сельскохозяйственные угодья региона, а также оценка существующих адаптационных мер.

Материалы и методы

Исследование основано на анализе климатических данных последних лет. Проанализированы данные полевого контроля на территории Енбекшиказахского района, а также результаты международных проектов в области адаптации сельского хозяйства. Оценка колебаний температуры и осадков проводилась относительно климатических норм последних лет.

Результаты и их обсуждение

Анализ временных рядов в последние годы показывает устойчивый рост среднегодовой температуры в регионе. Зимой холодных дней мало, а летом температура повышается. Отклонения от климатических норм регистрируются практически во все месяцы года, и в последние десятилетия возрастает частота месяцев с аномально высокими температурными показателями. Согласно наблюдениям 2025 года, среднегодовая температура воздуха в этом регионе составляет 5,8 °С. Абсолютный максимум достигает 36,6 °С, абсолютный минимум — -32,9 °С. При этом наблюдается увеличение продолжительности безморозного периода и сглаживание сезонности. Осадки распределяются неравномерно. Максимальное значение было зафиксировано в сентябре (61 мм) и декабре (59 мм), а минимальное — в июле (13 мм) и марте (14 мм). Такое распределение осадков угрожает летним культурам, поскольку в июле они могут столкнуться с нехваткой влаги [2].

Горная часть региона состоит из многочисленных речных и озерных систем (Иссык, Тургень, Шолак, Шетикти Ата, Шилик, Жасылколь). Потепление приводит к быстрому таянию ледников, что в кратчайшие сроки увеличивает поток воды и паводки. Однако в долгосрочной перспективе это приводит к уменьшению запаса воды, в результате чего сельскохозяйственные угодья несут большие потери. В последнее время в районе уча-

Таблица 1. Факторы, влияющие на сельскохозяйственные угодья Енбекшиказахского района

Фактор	Показатель	Наблюдаемые изменения	Последствия	Меры адаптации
Климат	Температура	Стабильное повышение среднегодовой температуры, смягчение зимы, жаркое лето	Повреждение растений тепловым воздействием, продление безморозного периода	Адаптация агротехнических приемов
	Осадки	Неравномерное распределение осадков по сезону (малое количество летом)	Дефицит влаги в вегетационный период	Развитие оросительных систем
	Экстремальные явления	Засуха, снежные лавины и частота погодных аномалий	Повышенная опасность для земледелия и инфраструктуры	Меры мониторинга и предупреждения
Водные ресурсы	Ледники и течения	Быстрое таяние ледников	В краткосрочной перспективе — увеличение объема воды, в долгосрочной — уменьшение	Необходимость накопления водных запасов
	Водообеспечение	Усиление дефицита воды в сухие периоды	Снижение производительности сельского хозяйства	Строительство каскадных прудов
	Эффект адаптационных мер	Увеличение водной доступности на 25–30 %	Введение в оборот 1420 га земли	Эффективное управление водными ресурсами

стились и чрезвычайные ситуации. В феврале 2025 года в регионе сошла лавина общим объемом 67,5 м³, что привело к закрытию трассы.

Нехватка воды в сухие периоды остается одной из главных проблем района. Для ее решения реализуется программа строительства буферных водоемов с обратным водоснабжением. В Байтерекском, Алгинском и Койшыбекском сельских округах созданы искусственные озера общей площадью 850 000 м³. Это позволило увеличить водообеспечение на 25–30 %. Благодаря этим мерам восстановлено 1420 гектаров ранее заброшенных земель [3].

Влияние на урожайность культур

Изменение климата и адаптационные меры привели к неоднозначным последствиям. В то время как летняя жара снижает урожайность, улучшение водоснабжения

помогает частично нивелировать этот негативный эффект. По данным полевых испытаний, средняя урожайность пшеницы выросла с 2,5 до 3,1 т/га (прирост на 24 %), ячменя — с 2,2 до 2,8 т/га (прирост на 27 %), кукурузы — с 3,8 до 4,5 т/га (прирост на 24 %). Однако эти результаты в основном связаны с улучшением орошения, а не с благоприятными климатическими условиями [4].

Пастбища и животноводство

Животноводство является традиционной отраслью сельского хозяйства Енбекшиказахского региона. Однако повышение температуры и изменение количества осадков приводят к деградации пастбищ. Для решения этой проблемы Европейский союз запустил проект JAILYM (2022–2024), направленный на повышение устойчивости пастбищ. В рамках проекта созданы пять ассоциаций паст-

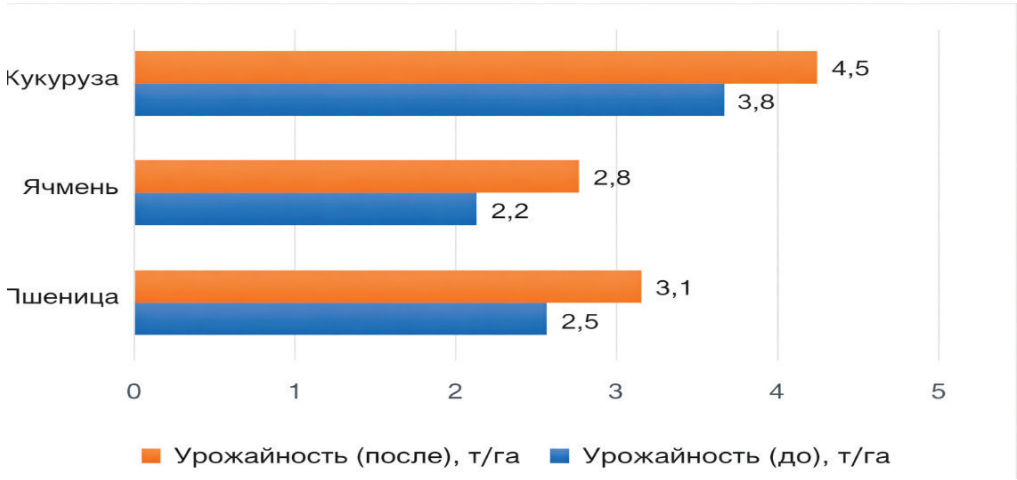


Рис. 1. Результаты мер по изменению климата и адаптации к нему

бищепользователей в сельских округах, а также региональный координационный совет по пастбищам, внедрена компьютерная система управления помещениями, местные фермеры прошли тренинг по адаптации к климатическим рискам. В результате площади высадки кормовых культур выросли на 20–25 %, что улучшило кормовую базу животноводства и снизило зависимость от импорта [5].

Инфраструктурные и социальные ограничения

Несмотря на положительные изменения в водоснабжении и управлении пастбищами, в районе сохраняются серьезные проблемы с инфраструктурой. По состоянию на июль 2024 года в сельской зоне Байтерек полностью лишены доступа к сотовой связи и интернету четыре населенных пункта (Буркут, Алибек, Надежда и Бастау). Жители вынуждены подниматься на крыши домов или выезжать на трассу, чтобы вызвать скорую помощь. Во время паводка это представляет серьезную опасность для жизни. Отсутствие связи негативно сказывается и на сельскохозяйственной деятельности. Фермеры не могут получать прогнозы погоды, информацию о рыночных ценах, взаимодействовать с консультационными сервисами и своевременно получать субсидии. Дополнительной проблемой является неэффективное использование государственных субсидий [6].

Полученные результаты позволяют сделать несколько выводов о влиянии изменения климата на сельское хозяйство на территории Енбекшиказахского района. В зоне наблюдается непрерывное потепление с повышением частоты температурных колебаний. Это соответствует глобальным тенденциям, установленным Всемирной метеорологической организацией. Для сельского хозяйства это означает повышение температурного давления в летние месяцы, особенно в июле, когда выпадает мало осадков. Основным барьером является дефицит воды. Успешный опыт строительства водоемов, регулируемых водозабором, показывает, что инвестиции в водную инфраструктуру могут покрыть до 30 % дефицита воды и увеличить производительность на 15–27 %. Однако такие решения требуют значительных инвестиций и не охватывают все сельские районы.

Социальные и институциональные барьеры снижают эффективность мер адаптации. Отсутствие связи в отдаленных селах исключает возможность использования

цифровых сервисов для сельского хозяйства (прогнозирование, дистанционное консультирование). Системы распределения субсидий подрывают доверие фермеров к государственной поддержке и отвлекают средства от реальных потребностей. Проект JAILYM показал потенциал местных сообществ в сфере сотрудничества с международными организациями. Создание Ассоциации пастбищепользователей и внедрение компьютерных систем управления позволило рационально использовать пастбища в условиях климатических нагрузок. Однако, чтобы распространить этот опыт на весь регион, необходимо время и дополнительное финансирование.

Данное исследование ограничено отсутствием детальных долгосрочных прогнозов продуктивности отдельных культур и полного списка метеостанций в регионе. Перспективным направлением дальнейшей работы является оценка экономической эффективности различных стратегий адаптации в определенном регионе (орошение, изменение культур, агролесоводство).

Заключение

Изменение климата оказывает комплексное воздействие на сельскохозяйственные угодья Енбекшиказахского региона. Основные опасности: повышение летних температур, отсутствие влаги в критические периоды вегетационного периода и увеличение количества экстремальных явлений (оползни, засухи и пыльные бури).

Примеры успешной адаптации региона к указанным изменениям есть:

- строительство прудов, регулирующих поступление воды, позволило увеличить водообеспечение на 25–30 % и вернуть в оборот 1420 гектаров земли;

- в рамках проекта JAILYM внедрены методы устойчивого управления пастбищами.

Однако остаются нерешенными проблемы инфраструктуры (отсутствие связи в некоторых селах) и институциональные риски (коррупция при распределении субсидий). Без их устранения потенциал адаптации реализуется не в полной мере. Дальнейшее развитие сельского хозяйства в регионе требует комплексного подхода, объединяющего оптимизированную с учетом климатических условий водную инфраструктуру, цифровизацию сельскохозяйственных услуг и прозрачные механизмы государственной поддержки.

Литература:

1. Предварительный прогноз засухи на май был опубликован Казгидрометом // Казгидромет. — 2023. — 25 апреля. — URL: <https://kazhydromet.kz/en/post/2165> (дата обращения: 18.05.2026).
2. Optimized Use of Alternative Water Sources with Artificial Recharge in Circulating Irrigation under Climate Change: A Case Study from Enbekshikazakh District, Almaty Region / T. Rakhimov, A. Ismagulova et al. // ES Energy and Environment. — 2025. — Vol. 28.
3. European Union supports sustainable grazing and pasture management in Kazakhstan // European Union External Action. — 2022. — May 23. — URL: https://www.eeas.europa.eu/delegations/kazakhstan/european-union-supports-sustainable-grazing-and-pasture-management-kazakhstan_en (дата обращения: 18.05.2026).

4. Optimized Use of Surface and Groundwater from Non-Traditional Sources with Artificial Replenishment in Circulating Irrigation Systems Amid Climate Change: A Case Study of Enbekshikazakh District, Almaty Region / T. Rakhimov, A. Ismagulova et al. // ES Energy and Environment. — 2025. — Vol. 28.
5. JAILYM — Multi-actor partnerships and innovation at the service of economic and environmental sustainability of grazing activities in Enbekshi-Kazakh District // European Union External Action. — 2022. — February 18. — URL: https://www.eeas.europa.eu/delegations/kazakhstan/jailym-%E2%80%92-multi-actor-partnerships-and-innovation-service-economic-and-environmental-sustainability_en (дата обращения: 18.05.2026).
6. Акимат Енбекшиказахского района. Данные о социально-экономическом развитии района. — 2024.

Влияние изменения климата на сельскохозяйственные угодья

Жумагул Нурболат Бакытжанулы, студент магистратуры

Научный руководитель: Байгурин Жаксыбек Джакупбекович, доктор технических наук, профессор
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

В статье рассматривается влияние изменения климата на сельскохозяйственные угодья в глобальном и региональном масштабе. Проанализированы ключевые климатические риски и зарубежный опыт адаптации.

Ключевые слова: изменение климата, сельское хозяйство, засуха, почвы, урожайность, адаптация

Изменение климата меняет состояние сельскохозяйственных угодий на всех континентах. По данным европейского агентства Copernicus, 2025 год стал самым теплым в истории метеорологических наблюдений. А по прогнозам Всемирной метеорологической организации, 2026 год может установить новый рекорд. Межправительственная группа по изменению климата (IPCC) подтверждает, что агропродовольственные системы относятся к числу наиболее уязвимых секторов к климатическим воздействиям — от засухи и сильной жары до осадков и подъема уровня моря. Особое беспокойство вызывает жара, которая может снизить производительность сельского хозяйства до 50 %, а риск гибели сельскохозяйственных рабочих от воздействия высоких температур может вырасти более чем в 35 раз. На 30-й конференции участников Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций по изменению климата (COP30) в ноябре 2025 года Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) отметила, что агропродовольственные системы производят около 16 миллиардов тонн CO₂ в год, то есть около трети всех глобальных выбросов [1].

Сочетание нескольких стрессовых факторов в течение одного вегетационного периода представляет наибольшую сложность для сельского хозяйства. Согласно исследованиям, комплекс экстремальных погодных явлений, например одновременное воздействие жары и засухи или, напротив, избыточное увлажнение, может снизить мировую урожайность зерновых до 30 %. С начала 2000-х годов существуют районы, где неоднократно фиксировалась аварийная уборка урожая из-за жары и засухи. Наибольшей опасности подвергается почвенный покров, являющийся основой продуктивного сельского хозяйства. Повышение температуры, затяжная засуха и паводки негативно влияют на почвенные экосистемы.

Хорошо обработанные почвы являются одним из основных факторов стабильности аграрного сектора. И приоритетным направлением для повышения устойчивости почв к изменению климата должно стать внедрение интегрированных систем сельскохозяйственного производства. Первая глобальная оценка состава почв в пастбищных экосистемах, проведенная ФАО в 2023 году, показывает, что усовершенствованные методы управления пастбищами могут значительно повысить способность почвы к поглощению и удержанию углерода [2].

Применение таких стационарных методов, как оборотный выпас скота, внесение органических удобрений и агролесомелиорация, позволяет увеличить содержание органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы на 0,3 %, что эквивалентно накоплению 0,3 тонны углерода на гектар в год.

Зарубежный опыт

США

Соединенные Штаты являются одним из крупнейших производителей кукурузы и сои в мире, но даже высокотехнологичное сельское хозяйство этой страны не может противостоять изменению климата. Тревожные выводы были сделаны в исследовании, опубликованном в журнале *Global Change Biology* в 2024 году: фенологическая адаптация (изменение времени посадки, выбор различных спелых гибридов) недостаточна для компенсации потерь урожайности кукурузы в Соединенных Штатах Америки. Проанализировав данные четырех штатных 80-летних гибридных испытаний, авторы пришли к выводу, что тепловой стресс оказывает больше влияния на растения, чем

предполагалось ранее. С учетом исторической генетической изменчивости термостойкости существующие селекционные возможности не преодолевают негативных последствий предполагаемого потепления [3].

Еще одно исследование, проведенное на Среднем Западе США, где находится 75 % посевных площадей кукурузы и сои, выявило три основных фактора, определяющих разрыв между потенциальной и фактической урожайностью. Прогнозы до 2100 года свидетельствуют о резком увеличении этого разрыва для кукурузы в южной части Кукурузного пояса. Ухудшение сильнее проявляется при движении с севера на юг, тогда как различия между западом и востоком минимальны. Соя менее чувствительна к этим изменениям, так как прогнозируемая температура пока не выходит за пределы оптимального для этой культуры диапазона. Исследование сельскохозяйственных рисков в Луизиане показало, что из шести проанализированных факторов именно засуха наносит наибольший ущерб. Ожидается, что к 2050 году убытки от нее составят 59,2 миллиона долларов — это около 95 % всех прогнозируемых потерь [4].

Центральная Азия: Казахстан и Узбекистан

Если опыт США показывает, как изменение климата ставит под угрозу даже высокотехнологичное сельское хозяйство, то Центральная Азия представляет собой зону экстремального риска. Сухой и экологически уязвимый регион, в который входят Казахстан и Узбекистан, является одним из самых чувствительных к засухе в мире. Масштабное исследование, опубликованное в журнале *Science of the Total Environment*, показало, что в среднем 94,4 % территории Казахстана и Узбекистана демонстрируют высокую уязвимость растений в период дефицита воды (с мая по октябрь). При высоких темпах выбросов парниковых газов ожидается, что в ближайшее время (к 2060 году) центр растительной биомассы сместится из Казахстана в Синьцзян (Китай). Однако в долгосрочной перспективе (2061–2100) он вновь вернется в Казахстан. Причиной такой динамики является активная политика Китая в области восстановления лесов и сокращения выбросов. Этот пример показывает, как экологическая политика одной страны может изменить траекторию климатических рисков соседнего государства [5].

Еще один фактор риска, который часто игнорируется, — деградация почвы, вызванная пыльными бурями. В ноябре 2021 года в Узбекистане прошла самая сильная пыльная буря с 1871 года. Этому предшествовала затяжная засуха на юге Казахстана, вызванная отсутствием осадков и высоким испарением. В Ташкенте концентрация PM_{10} достигла $18\,000\text{ мкг/м}^3$. Это в 260 раз больше среднегодового уровня, а опасные микрочастицы $PM_{2.5}$ превышали отметку в 300 мкг/м^3 почти десять дней. Ученые связали это явление с сильной жарой лета 2021 года в Казахстане (температура достигла $46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), которая высушила почву на глубину до 50 см [6].

Вьетнам

Одним из наиболее ярких примеров уязвимости сельского хозяйства к изменению климата является дельта Меконга во Вьетнаме. Здесь сосредоточено 75 % всех сельскохозяйственных земель страны, и этот регион стал эпицентром борьбы с климатическими проблемами. В связи с повышением уровня моря и изменением режима осадков в сухой сезон соленая вода проникает глубже в дельту. Последствия этого могут быть катастрофическими: 70 % рисовых площадей будут засолены, а 30 % рисовых культур могут полностью погибнуть, не дав урожая. Тысячи фермеров теряют источники дохода, и предполагается, что масштабы и частота таких потерь будут только возрастать. Однако во Вьетнаме есть и успешные примеры адаптации. Эффективные решения были найдены в рамках проекта Австралийского центра международных сельскохозяйственных исследований. Важнейшим шагом стала диверсификация культур: киноа, кукуруза, свекла и арбузы успешно выращиваются в качестве альтернативы рису в сухой сезон. Прибыль от выращивания свеклы в 20 раз превышает доход от риса и арбузов и в два раза — от посевов кукурузы. Применение мульчи для снижения засоленности почвы и использование датчиков влажности почвы позволило снизить потребление воды вдвое без потери эффективности [7].

Западная Африка

Исследование, проведенное в хлопководческой зоне Кот-д’Ивуара (опрос 355 фермеров и анализ 64 почвенных образцов, собранных с этих посевов в 2013 и 2021 годах), показало, что большинство фермеров знают об изменении климата и его негативных последствиях. Тем не менее возможности адаптации остаются ограниченными. Почвы все еще классифицируются как умеренно или условно пригодные для выращивания хлопка в связи с дефицитом органического углерода. Особую тревогу вызывает анализ изменений в землепользовании, проведенный на основе спутниковых снимков Landsat за 1998–2020 годы. Резко снизилась доля лесных угодий и саванн, а площади пашен и населенных пунктов возросли. Прогнозы до 2063 года говорят о сохранении этой опасной тенденции.

Аналогичные проблемы наблюдаются и в других регионах. Например, начиная с 1980-х годов в Зимбабве наблюдается устойчивая тенденция к засушливости климата. На большей части территории сезон дождей сократился на 30 дней, а периоды сильной засухи могут длиться до 20 дней подряд.

Анализ ситуации в разных странах позволяет выявить универсальные закономерности:

1. Региональная диверсификация рисков. Наиболее уязвимыми являются тропические и субтропические зоны (Вьетнам, Западная Африка), а также сухие сельскохозяйственные регионы (Центральная Азия). Вместе с тем спектр рисков расширяется. Зоны климатического стресса с юга и востока смещаются в центральные, северные и западные районы.

2. Комплексный характер воздействия. Климатические риски усугубляются структурными проблемами. Экономическая нестабильность, несправедливость глобальных цепочек стоимости и активное использование земель приводит к стремительной деградации почв.

3. Важность полива и технологий.

4. Необходимость системных решений. Разовых мер уже недостаточно. Необходимы интеграция климатического анализа в сельскохозяйственную политику, разработка систем раннего предупреждения, финансирование и климатическое страхование, а также распространения знаний среди фермеров.

В заключение следует отметить, что изменение климата трансформирует сельскохозяйственные угодья по всему миру беспрецедентными темпами — от высокотехнологичных полей на Среднем Западе США до рисовых плантаций в дельте Меконга и пастбищ в Центральной Азии. Совокупное воздействие температурных колебаний, недостатка влаги, чрезмерных осадков и вторичных воздействий (засоление почвы, пыльные бури) создает новую угрозу глобальной продовольственной безопасности. В ответ на эти вызовы научное сообщество и международные организации активно разрабатывают конкретные стратегии адаптации.

Литература:

1. Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change / C. Lesk, W. Anderson et al. // Nature Reviews Earth & Environment. — 2022. — Vol. 3, № 12. — P. 872–889.
2. Global Assessment of Soil Carbon in Grasslands. Vol. 187 / M. Dondini, M. Martin et al. — Rome : FAO, 2023.
3. Kusmec, A. Phenological adaptation is insufficient to offset climate change-induced yield losses in US maize / A. Kusmec, P. S. Schnable // Global Change Biology. — 2024. — Vol. 30 (10). — Art. e17539.
4. Hatfield, J. L. Vulnerability of grain crops and croplands in the Midwest to climatic variability and adaptation strategies / J. L. Hatfield, L. Wright-Morton, B. Hall // Climatic Change. — 2018. — Vol. 146 (50). — P. 263–275.
5. Shift in the migration trajectory of the green biomass loss barycenter in Central Asia / F. Han, H. Ling et al. // Science of The Total Environment. — 2022. — Vol. 847. — Art. 157656.
6. Study of the strongest dust storm occurred in Uzbekistan in November 2021 / B. E. Nishonov, B. M. Kholmatjanov et al. // Scientific reports. — 2023. — № 13.
7. Farmer options for crops under saline conditions in the Mekong River Delta, Vietnam / Australian Centre for International Agricultural Research, 2020–2026.
8. Climate Change Impact and Variability on Cereal Productivity among Smallholder Farmers under Future Production Systems in West Africa / D. S. MacCarthy, M. Adam et al. // Sustainability. — 2021. — Vol. 13, № 9. — Art. 5191.

Результаты исследования работы беспилотного воздушного судна DJI «AGRAS T20» при внесении гербицидов

Тихонова Алена Сергеевна, студент магистратуры
Дальневосточный государственный аграрный университет (г. Благовещенск)

В статье приводятся результаты мониторинга беспилотного воздушного судна DJI «AGRAS T20» при внесении раствора гербицида на полевым участке, характеризующем сложной конфигурацией, максимальной длиной гона 1850 метров, наличием препятствий в виде переувлажненных участков и древесной растительностью, общей площадью 54 гектаров. Описана технология внесения раствора гербицида с указанием времени на вспомогательные операции и основную работу. Приведены результаты баланса времени смены при внесении гербицида с помощью указанного БВС, определен коэффициент использования времени смены.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, гербициды, коэффициент использования времени смены, эксплуатационные показатели.

Results of a study on the performance of the DJI AGRAS T20 unmanned aerial vehicle in herbicide application

The article presents the results of monitoring the DJI «AGRAS T20» unmanned aerial vehicle when applying a herbicide solution in a field area characterized by a complex configuration, a maximum rutting length of 1,850 meters, the presence of obstacles in the form of waterlogged areas and woody vegetation, with a total area of 54 hectares. The technology of applying the herbicide solution

is described, indicating the time for auxiliary operations and basic work. The results of the shift time balance when applying the herbicide using the specified BVS are presented, and the shift time utilization factor is determined.

Keywords: unmanned aircraft, herbicides, shift time utilization rate, operational performance.

Введение

Беспилотные воздушные суда (БВС) в настоящее время активно внедряются в технологические операции аграрного производства России [1, 2]. Наибольшее распространение БВС получили при производстве продукции растениеводства. Основными сферами применения БВС в технологических циклах возделывания сельскохозяйственных растений в условиях Амурской области являются мониторинг полей и посевов, а также защита растений. В редких случаях БВС используют для посева разбрасывающим способом и для распыления [1].

Однако необходимо отметить, что применение БВС в технологии возделывания сельскохозяйственных культур накладывает определенные ограничения и подразумевает характерные особенности.

Целью исследования является определение основных технико-эксплуатационных показателей внесения раствора гербицида на посевах сои беспилотным воздушным судном DJI «AGRAS T20».

Объект и методы исследований

При исследовании применялись хронометрический, аналитический и диалектический методы исследования, а также методы анализа, систематизации, сравнения, обобщения. Хронометраж работы БВС осуществлялся на протяжении 9 часов 45 минут.

Изучение и анализ источников информации велись в поисковых системах и научных электронных библиотеках: портале ResearchGate, eLIBRARY.RU, CyberLeninka.

Исследования проводились на полевого участка ОАО «Агросоюз ДВ» Ивановского округа Амурской области, площадь которого составляет 54 гектаров. Поле имеет сложную конфигурацию, на поверхности имеется переувлажненный участок, который круглогодично заполнен водой. На поле расположены посевы сои. Посев производился с внесением минеральных удобрений во второй декаде мая. На момент внесения гербицидов при помощи БВС, которая производилась 27 июня, высота растений сои составляла от 20 до 25 см.

Количество сорняков определялось при помощи рамки размерами 0,5×0,5 м. Рамку накладывали в 10-ти точках по диагонали поля. Перед работой БВС DJI «AGRAS T20» была построена карта полевого участка по данным съемки беспилотного воздушного судна DJI Phantom 4 Multispectral. Пространственное разрешение карты составило 5,3 см. Высота полета БВС DJI Phantom 4 Multispectral от точки взлета — 45 м, время полета заняло 42 минуты, в результате чего получено 983 снимка. Пространственное разрешение изображений составило 1,1 см.

Процесс обработки снимков занял 5-ть часов, в результате которого получена 2-D модель исследуемого полевого участка. Контроль дистанционных измерений обеспечивается контактными методами.

Построение полетного маршрута выполнялось в программном обеспечении DJI «Terra», поставляемом в комплекте с агродронами.

Результаты исследований и их обсуждение

Высота полета БВС DJI «AGRAS T20» составляла 3,5 метров, что обеспечивало рабочую ширину захвата 7,05 метров со скоростью полёта 19 км/ч (5,3 м/с). Канистра БВС заполнялась раствором гербицида на 17 литров. Норма внесения раствора составляла 20 л/га. Следовательно, для обработки 2-х гектаров посевов гербицидом требовалось в среднем три заправки канистры. Расход раствора гербицида был установлен на 4,2 л/мин.

Агродрон был оснащен 8-ю форсунками опциональной модели сопла системы «SX110015VS». Размер капель был определен согласно технических характеристик, указанных в руководстве пользователя [3] и составлял 170–265 мкм.

Способ движения БВС — челночный, без осуществления разворотов, следовательно, поворотная полоса отсутствует. Заправка раствором гербицида канистры БВС и замена аккумуляторных батарей (АКБ) осуществлялась с одной стороны поля, где была установлена метка «База».

По результатам исследования работы БВС DJI «AGRAS T20» была составлена таблица 1 с показателями.

Расстояние, на котором происходило опорожнение канистры с раствором гербицида, определяется по формуле по формуле

$$L_{\text{техн}} = \frac{10^4 \cdot V_c \cdot n_{\text{схм}} \cdot \gamma \cdot \lambda_c}{H_{\text{га}} \cdot B_p} [4] \quad (1)$$

где V_c — объём ёмкости гербицидов, 0,02 м³;

γ — объемная масса раствора гербицида, 1000 кг/м³;

λ_c — степень заполнения ёмкости гербицидов, 0,85;

$H_{\text{га}}$ — норма внесения раствора гербицидов, 20 л/га.

$$L_{\text{техн}} = \frac{10^4 \cdot 0,02 \cdot 1000 \cdot 0,85}{20 \cdot 7,05} = 1205,7 \text{ м}$$

Полёт БВС DJI «AGRAS T20» на одном заряде АКБ производился продолжительностью 8 минут, следовательно, путь на одном заряде определен по формуле

$$L_{\text{АКБ}} = v_p \cdot t \quad (2)$$

где v_p — скорость полёта БВС, м/с;

$t_{\text{АКБ}}$ — время полёта на одном заряде, с.

$$L_{\text{АКБ}} = 5,3 \cdot 8 \cdot 60 = 2544 \text{ м}$$

Таблица 1. Значения показателей баланса времени смены внесения гербицида с использованием БВС DJI «AGRAS T20», ч

№ п/п	Показатель	Значение
1	Чистое рабочее время, в процессе которого осуществляется внесение раствора гербицида	4,42
2	Время холостых переездов на загоне (перелеты для заправки канистры и замены АКБ)	3,92
3	Время технологического обслуживания агрегата	0,4
4	Подготовительно-заключительное время	0,42
5	Время устранения неисправностей	0,2
6	Организационные затраты времени	0,4
7	Потери времени по метеорологическим причинам	0,0
ИТОГО		9,76

Из полученных результатов следует, что заправка канистры раствором гербицидом является основной причиной низкого показателя коэффициента использования времени смены.

Сменная производительность БВС DJI «AGRAS T20» определена по формуле

$$W_{\text{см}} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_p$$

где B_p — рабочая ширина захвата, м.

T_p — чистое время работы, ч.

$$W_{\text{см}} = 0,1 \cdot 7,05 \cdot 19 \cdot 4,42 = 59,2 \text{ га/см}$$

Часовая производительность составила 6,1 гектаров.

Заключение

Выводы: применение БВС DJI «AGRAS T20» при внесении средств защиты растений целесообразно на полевых участках, которые характеризуются сложной конфигурацией с наличием различных препятствий. При превышении длины гона участка более 1250 метров необходимо осуществить смену базы, либо предусмотреть смену АКБ с двух сторон поля. Положительными факторами применения БВС при внесении гербицидов являются:

- отсутствие негативного воздействия на почву и повреждений культурных растений ходовой системой;
- высокий КПД рабочих передвижений, в виду отсутствия разворотов;
- норма внесения гербицида при внесении БВС значительно меньше, чем наземными опрыскивателями, воздушные потоки, создаваемые пропеллерами, обеспечивают качественное перемешивание и обработку раствором растений;
- размер капель раствора, создаваемых форсунками, меньше, чем у наземных опрыскивателей.

Но при этом необходимо отметить следующие недостатки использования БВС при внесении гербицидов:

- низкий коэффициент использования времени смены, обусловленный необходимостью постоянной заправки канистры раствором гербицидов и разрядом АКБ;
- на участках с длиной гона более 2500 метров использование БВС фактически невозможно;
- отсутствие датчиков работоспособности форсунок у БВС DJI «AGRAS T20» не позволяет своевременно произвести технологическое обслуживание, в результате чего при обработке посевов могут возникнуть огрехи.

Литература:

1. Бочаров К. О. Применение дронов в сельском хозяйстве / К. О. Бочаров // Наука без границ, 2021. — № 6 (58). — с. 88–94. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-dronov-v-selskom-hozyaystve/viewer>
2. Урасова, А. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве РФ: оценка региональной популярности потребительских 18 предпочтений / А. А. Урасова, Л. В. Глезман, С. С. Федосеева // Экономика региона. Отраслевая экономика, 2023. — № 19(4). — С. 1146–1160. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-vselskom-hozyaystve-rf-otsenka-regionalnoy-populyarnosti-potrebitelskihpredpochteniy>
3. Руководство пользователя DJI «AGRAS T20» // DJI Support, 2020. — 57 с.
4. Кислов, А. А. Эксплуатация машинно-тракторного: учебное пособие // А. А. Кислов, А. В. Бурмага, В. А. Мунгалов. — Дальневост. гос. аграр. ун-т, ФМСХ. — Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2025. — 106 с.

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 20 (623) / 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.

Номер подписан в печать 27.05.2026. Дата выхода в свет: 03.06.2026.

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.

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

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