

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



14 2026
ЧАСТЬ I

16+

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 14 (617) / 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 *Николай Николаевич Зинин* (1812–1880), русский химик-органик.

Родился Николай Николаевич в г. Пензе, о чем сам написал в автобиографии, хотя некоторые источники указывают местом рождения Шушу (Карабахское ханство, с 1805 года бывшее фактически под контролем России), где он действительно он жил в младенчестве, поскольку его отец, Николай Иванович Зинин, находился там с дипломатической миссией. Во время свирепствовавшей на Кавказе первой пандемии холеры родители Зинина погибли, и мальчик был отправлен к дяде в Саратов, где в 1820 году поступил в мужскую гимназию. По ее окончании он стал казеннокоштным студентом на математическом отделении философского (позднее — физико-математического) факультета Казанского университета. В студенческие годы Зинин был увлечен математикой и астрономией, которые изучал под руководством Николая Лобачевского. После окончания университетского курса со степенью кандидата и золотой медалью за сочинение «О пертурбациях эллиптического движения планет» в 1833 году он получил предложение продолжить учебу в Профессорском институте в Дерпте, но отказался. Он остался в Казани, где стал преподавать аналитическую механику, гидростатику и гидродинамику.

Николай Николаевич Зинин считал себя в первую очередь математиком и не интересовался химией. Однако по предложению профессора Лобачевского Зинин стал читать курс теоретической химии.

В 1836 году он получил степень магистра физико-математических наук, защитив диссертацию «О явлениях химического сродства и о превосходстве теории Берцелиуса о постоянных химических пропорциях перед химическою статикою Бертолле». А затем по ходатайству попечителя университета Михаила Николаевича Мусина-Пушкина Зинин был направлен для совершенствования образования на три года за границу. Большое влияние на выбор направления его исследований оказал знаменитый немецкий химик Юстус фон Либих, в лаборатории которого ученый проработал около года.

В 1839 году Зинин опубликовал в журнале *Liebig's Annalen der Chemie* статью, в которой сообщал о найденном им способе превращения горько-миндального масла в бензоин. Вторая статья русского химика, опубликованная в том же издании, рассказывала о бензойных соединениях. Эти работы составили докторскую диссертацию Зинина, которую он защитил после возвращения в Россию в 1841 году. Название диссертации было сформулировано так: «О соединениях бензоила и об открытых новых телах, относящихся к бензoiловому ряду».

После Николай Николаевич вернулся в Казань, где в течение следующих семи лет возглавлял кафедру химической технологии Казанского университета. Зинин основал знаменитую казанскую школу химиков, ставшую одним из основных центров химических исследований в России в XIX веке.

В 1848 году Николай Николаевич, получив приглашение занять должность профессора химии в Санкт-Петербургской медико-хирургической академии, переехал в Петербург; впоследствии он был избран академиком Петербургской академии наук.

Основным направлением работы ученого стали исследования в области органической химии. Он разработал методы получения бензоина из бензальдегида, а также бензила из бензоина. Тогда же ученый впервые синтезировал бензиловую (дифенилгликолевую) кислоту, описал ее свойства и установил состав. В 1842 году Зинин открыл реакцию восстановления ароматических нитросоединений («реакция Зинина»), послужившую основой новой отрасли химической промышленности — анилокрасочной.

Совместная работа ученого с молодым инженером-артиллеристом Василием Петрушевским привела к решению проблемы получения и использования сильнейшего взрывчатого вещества — нитроглицерина. Ученые трудились над созданием взрывчатой композиции, безопасной при транспортировке. В итоге был найден хороший вариант — пропитка нитроглицерином карбоната магния. Об этом Зинин рассказывал своему соседу по даче Альфреду Нобелю, сыну Эммануила Нобеля — владельца завода по производству мин. Идея пригодилась Альфреду Нобелю спустя несколько лет. Во время транспортировки нитроглицерина одна из бутылей разбилась, и жидкость пропитала инфузорную землю, насыпанную между бутылками. Нобель, вероятно, вспомнивший рассказы Зинина о том, что нитроглицерином следует пропитывать порошкообразные вещества, быстро оценил свойства образовавшейся композиции, названной впоследствии динамитом и принесшей ему громадные прибыли. Узнав всё это, Зинин заметил: «Этот Альфред Нобель выхватил у нас динамит из-под носа».

Николай Николаевич был почетным членом многих русских и иностранных научных обществ, академий и университетов.

Вместе с Александром Воскресенским Зинин фактически основал школу русских химиков — его учениками были Александр Бутлеров, Николай Бекетов, Александр Бородин.

В 1868 году вместе с Дмитрием Менделеевым, Николаем Меншуткиным и другими учеными Зинин выступил организатором Русского химического общества, а затем в течение десяти лет являлся его президентом.

Николай Зинин умер 6 февраля 1880 года в Санкт-Петербурге и был похоронен на Смоленском кладбище. После смерти ученого Русское химическое общество учредило премию имени Николая Николаевича Зинина и Александра Абрамовича Воскресенского за лучшие работы в области химии.

*Информацию собрала ответственный редактор
Екатерина Осянина*

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Власенко И. С.

Визуализация предела: исследование интегралов через суммы Римана 1

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Адда-Аббу А.

Многокамерное слияние без калибровки для обнаружения угроз в системах видеонаблюдения: концептуальная архитектура на основе глубокого обучения 3

Деревянко И. А.

Новые возможности цифровых приборов учета электроэнергии 8

Карасаев М. А.

Информационная безопасность в нынешних реалиях: вызовы, технологии и человеческий фактор 13

Рудин А. А.

Интерфейсы взаимодействия с искусственным интеллектом как инструмент цифрового брендинга в креативных индустриях 16

Семёнов В. Д., Калинин К. С.

Автоматизированная оценка качества презентаций на базе нейросетевых моделей 18

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Кармаджян А. Е.

Кривые в дорожной отрасли 22

Кобелев В. А.

Сравнительный анализ методов сопоставления изображений для навигации беспилотных летательных аппаратов без глобальных навигационных спутниковых систем 28

Ли Силай

Параметрическая оптимизация и оценка производительности алгоритма обнаружения краев Кэнни для промышленной дефектоскопии поверхности 31

Назаркин Н. В.

Анализ применения беспилотных ударных средств вооружёнными силами иностранных государств 36

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Егоров А. Р.

Устойчивость и расчетные длины железобетонных внецентренно сжатых элементов 40

Карастелева И. Б.

Применение деревянных клефанерных конструкций в многоэтажном строительстве 45

Лебедева Е. С.

Обоснование схемы местных отсосов в литейном цехе 48

Мукатаева М. С., Рахимова Ж. Б.,

Есиркепова А. Б.
Исследование влияния ошибок проектирования на несущую способность конструкций на примере торгового центра в г. Астане 51

ГЕОЛОГИЯ

Лукина С. В.

Гидрогеологические условия Шакшинского нефтяного месторождения 59

Мустафин А. И.

Геохимические индикаторы трансформации дельты Печоры под влиянием природных и антропогенных факторов 61

Сагитов Д. И.

Поисково-оценочные работы на рудопроявлении золота Бодрый (Магаданская область) 62

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Нугманова М. К., Амантай М. Б.

Маркер-ассоциированная селекция в современном рисоводстве: принципы, методы и перспективы применения 64

МАТЕМАТИКА

Визуализация предела: исследование интегралов через суммы Римана

Власенко Илона Сергеевна, аспирант
Донецкий государственный университет

Данная статья посвящена наглядному исследованию фундаментального понятия математического анализа — определенного интеграла — через призму его определения через интегральные суммы Римана. Мы рассмотрим, как площадь, аппроксимированная суммой прямоугольников, сходится к точному значению интеграла для произвольной квадратичной функции $f(x) = ax^2 + bx + c$. Основной акцент сделан на демонстрации численного метода, реализованного на JavaScript с использованием Canvas API, что позволяет в динамике увидеть влияние количества разбиений N на точность полученного приближения.

Ключевые слова: математический анализ, определенный интеграл, суммы Римана, аппроксимация площади, численные методы, визуализация, JavaScript, Canvas API, многочлен второй степени.

Актуальность. Определенный интеграл является краеугольным камнем математического анализа, имеющим критическое значение в физике, инженерии, экономике и статистике. Однако абстрактная концепция предела, лежащая в основе интеграла, часто представляет сложность для студентов. Визуализация численных методов, таких как метод сумм Римана, переводит абстрактную теорию в осязаемую, наблюдаемую форму. Разработка интерактивных инструментов, позволяющих настраивать подынтегральную функцию и шаг разбиения, значительно повышает дидактическую ценность изучения понятия предела и сходимости.

Основная часть. Определенный интеграл функции $f(x)$ на интервале $[A, B]$, обозначаемый как $\int_A^B f(x) dx$, традиционно интерпретируется как ориентированная площадь между графиком функции и осью O_x .

В строгом математическом смысле, интеграл определяется как предел интегральных сумм.

Для вычисления этой площади мы используем суммы Римана [1]. Процесс выглядит следующим образом:

1. Разбиение интервала: интервал $[A, B]$ разбивается на N равных подинтервалов (прямоугольников). Ширина каждого такого интервала, Δx , равна $\frac{B - A}{N}$.
2. Высота прямоугольника: на каждом подинтервале выбирается некоторая точка x_i^* , и высота соответствующего прямоугольника определяется значением функции в этой точке, $f(x_i^*)$.
3. Суммирование: площадь каждого прямоугольника равна $f(x_i^*) \cdot \Delta x$. Интегральная сумма S_N — это сумма площадей всех N прямоугольников:

$$S_N = \sum_{i=1}^N f(x_i^*) \Delta x$$

В нашем примере мы используем правую сумму Римана, где x_i^* — это правая граница i -го подинтервала.

Для наглядной демонстрации этого процесса была разработана интерактивная программа на языке JavaScript с использованием нативного Canvas API (с полным кодом можно ознакомиться в [2]).

Цель программы: визуализировать, как общая сумма S_N меняется при изменении:

1. Самой функции (пользователь вводит коэффициенты a, b, c для $f(x) = ax^2 + bx + c$).
2. Числа прямоугольников N .

Программа динамически пересчитывает:

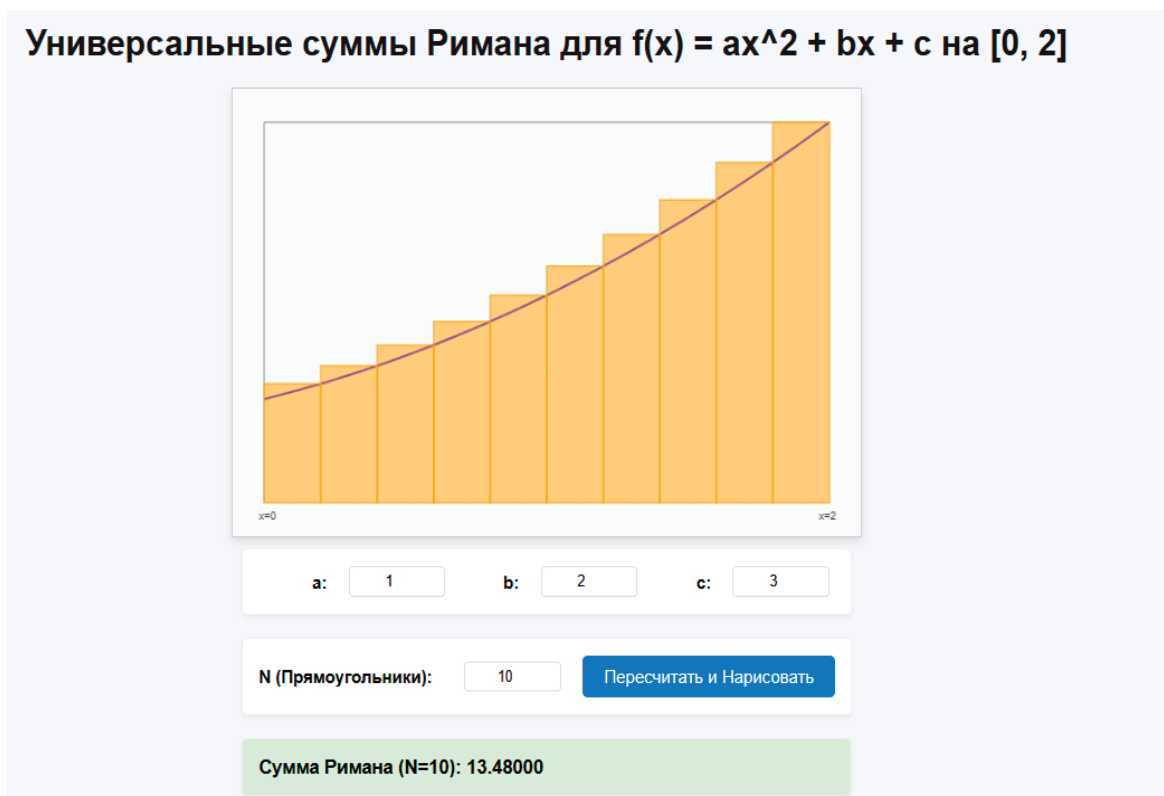


Рис. 1. Визуализация суммы Римана для функции $f(x) = x^2 + 2x + 3$

- График функции $f(x)$.
- Площади, занимаемые каждым из N прямоугольников (включая отрицательные площади, если функция уходит ниже оси O_x).
- Общую полученную сумму Римана, выводя ее в реальном времени.

Визуализация позволяет увидеть, что высота прямоугольника — это $f(x_i^*)$, а его площадь — это $f(x_i^*) \cdot \Delta x$, что является фундаментальным шагом к пониманию того, как дифференциальное изменение dx в анализе переходит в конечную величину Δx при численных расчетах.

Выводы. Визуализация сумм Римана демонстрирует, что определенный интеграл — это предел интегральных сумм при стремлении ширины разбиения к нулю ($N \rightarrow \infty$). Чем больше значение N (количество прямоугольников), тем меньше ширина Δx , и тем ближе (по абсолютному значению) вычисленная сумма Римана S_N к точному значению опре-

деленного интеграла $\int_A^B f(x) dx$.

Интерактивная программа позволяет студентам и исследователям не только запомнить формулу, но и интуитивно почувствовать мощь численных методов и понять, почему сходимость является ключевым свойством интегрального исчисления.

Литература:

1. Демидович Б. П. Краткий курс высшей математики: учеб. пособие для вузов / Б. П. Демидович, В. А. Кудрявцев. М.: Астрель, 2001. — 656 с.
2. [Электронный ресурс]. URL: <https://codepen.io/Ilona-Vlasenko/pen/GgjNR0M> (дата обращения: 31.03.2026).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Многокамерное слияние без калибровки для обнаружения угроз в системах видеонаблюдения: концептуальная архитектура на основе глубокого обучения

Адда-Аббу Ахмед-Реда, студент магистратуры
Московский политехнический университет

Системы видеонаблюдения на основе глубокого обучения демонстрируют высокие результаты при распознавании действий и выявлении аномалий в рамках одной камеры. Между тем реальные угрозы — кражи, скоординированные проникновения, слежка перед нападением — разворачиваются как пространственно-временные траектории через десятки камер, которые нередко не откалиброваны и не синхронизированы между собой. Ни одна из существующих архитектур эту задачу не решает. В настоящей статье задача многокамерного слияния без калибровки формулируется как нерешённая проблема промышленного видеонаблюдения. В качестве концептуального ответа предлагается иерархический конвейер, объединяющий локальное распознавание действий (SlowFast), межкамерные эмбединги, устойчивые к смене ракурса (VideoMAE v2), и агрегацию траекторий на горизонтах до нескольких минут с помощью граф-трансформера. Аномальность угрозы декомпозируется на три интерпретируемых компонента — локальный, пространственный и темпоральный — а сопоставление личностей между камерами выполняется без метрической калибровки. Подход рассмотрен на трёх типовых сценариях угроз. Работа носит концептуальный характер; экспериментальная проверка архитектуры — задача для дальнейших исследований.

Ключевые слова: многокамерное слияние, граф-трансформер, обнаружение угроз, повторная идентификация без калибровки, SlowFast, VideoMAE, аномальные траектории, видеонаблюдение.

Введение

Три эпизода, разделённые минутами и десятками метров, произошли в одном торговом центре. На первой камере — мужчина в синей куртке, неподвижно стоящий у витрины явно дольше, чем того требует осмотр товара. На второй, установленной в сорока метрах, — тот же человек, но уже без куртки, идущий к выходу. На третьей, у парковки, — снова в куртке, теперь с сумкой, которой при входе не было. Каждая из камер зафиксировала обычное поведение. Угроза возникла только из последовательности.

Именно в этом разрыве и состоит нерешённая задача промышленного видеонаблюдения. SlowFast [1], Video Swin [2], VideoMAE v2 [3] — эти архитектуры показывают высокие результаты на стандартных бенчмарках. Но все они спроектированы для коротких клипов длиной от двух до шестнадцати секунд, снятых одной камерой с фиксированным освещением и углом. Реальная угроза разворачивается на протяжении минут и охватывает пространство под десятками разнородных, нередко не синхронизированных камер.

DeepSORT [4] и родственные ему подходы к многокамерному трекингу решают более узкую задачу: удерживать идентичность трека при перекрытиях и кратких исчезновениях. На горизонтах в несколько минут они не работают и не формируют представления угрозы как траектории. Методы повторной идентификации (Re-ID) [5, 6] активно развиваются, однако в большинстве своём требуют либо калибровки, либо значительного объёма размеченных данных об идентичностях — в реальных условиях то и другое редко доступно. Соревнования вроде AI City Challenge [7] фиксируют F1 на уровне 0,6–0,8 в задаче трекинга, но ориентированы именно на неё, а не на оценку поведения как угрозы.

Настоящая статья не претендует на обзор архитектур. Её цель — сформулировать задачу и наметить концептуальное решение. Разделы 2–4 описывают существующие строительные блоки, постановку задачи и предлагаемую архитектуру. Раздел 5 иллюстрирует подход на трёх сценариях. Раздел 6 — ограничения и открытые вопросы.

Архитектурные строительные блоки: возможности и пределы

Прежде чем описывать предлагаемое решение, нужно зафиксировать, что каждый из существующих классов архитектур умеет делать в контексте многокамерного обнаружения угроз — и чего он принципиально не умеет. Это обоснование выбора блоков, не обзор литературы.

SlowFast [1] — двухпутевая 3D-свёрточная сеть — остаётся наиболее практичным выбором для детекции действий в реальном времени на одной камере. Медленный путь работает на низкой частоте кадров и захватывает семантику сцены; быстрый специализируется на движении. SlowFast R50 достигает 77,0 % top-1 на Kinetics-400 [1] при вычислительных затратах, пригодных для потокового инференса. Принципиальное ограничение: модель анализирует клипы длительностью в доли секунды и не имеет никакого механизма для связывания наблюдений с разных камер.

Video Swin [2] с иерархическим локальным вниманием достигает 84,9 % top-1 на Kinetics-400 и 69,6 % на Something-Something v2 [2] — бенчмарке, акцентирующем порядок и направление движения. Это делает его полезным там, где важна точная локализация взаимодействий между людьми, в том числе агрессивных, в плотных сценах.

VideoMAE v2 [3] — маскированный автокодировщик с высокой долей маскируемых патчей — обучается без разметки: модель восстанавливает произвольно скрытые фрагменты видео. В конфигурации ViT-g она достигает 90,0 % top-1 на Kinetics-400 [3], что подтверждает практическую ценность самообучения как стратегии предобучения. Для задачи Re-ID важно другое: поскольку модель никогда не учила различать конкретных людей, она была вынуждена усвоить инвариантные паттерны движения и форм тела — те, что меньше меняются при смене ракурса и освещения. Это не гарантия, а теоретически обоснованное преимущество. VideoMAE также работает с отдельными клипами и не содержит механизма межкамерной агрегации.

На бенчмарке UCF-Crime [8] современные методы достигают AUC в диапазоне 84–92 % для отдельных клипов [8, 9]. Все они оцениваются в однокамерной постановке. Разрыв между этими цифрами и полным отсутствием стандартизированных бенчмарков для многокамерного обнаружения угроз как траекторий — сам по себе симптом нерешённой задачи.

Итог: ни одна из перечисленных архитектур не решает задачу многокамерной агрегации угрозы. Все они производят представления отдельных клипов; ни одна не строит траектории через некалиброванные камеры и не оценивает аномальность поведения на горизонтах в минуты. Предлагаемая архитектура закрывает этот пробел.

Таблица 1. Сравнение архитектурных блоков применительно к задаче многокамерного обнаружения угроз

Архитектура	Временной горизонт	Top-1 K-400	Устойчивость Re-ID	Многокамерная агрегация
SlowFast R50 [1]	Секунды	77,0 %	Низкая	Нет
Video Swin-B [2]	Секунды — ед. минут	84,9 %	Средняя	Нет
VideoMAE v2 ViT-g [3]	До десятков секунд	90,0 %	Высокая (по замыслу)	Нет
Предлагаемая архитектура	Минуты	—	Высокая (через VideoMAE)	Да, по замыслу

Прочерк означает, что предлагаемая архитектура — новая комбинация существующих моделей, а не отдельная модель, прошедшая оценку на бенчмарке.

Формализация задачи

Постановка

Пусть система наблюдения включает K камер C_1, C_2, \dots, C_K с непересекающимися или частично перекрывающимися полями зрения. Камеры не откалиброваны: их взаимное пространственное расположение неизвестно, временная синхронизация неточна, внутренние параметры различаются. Детектор нижнего уровня порождает на каждой камере треки — последовательности ограничивающих прямоугольников с метками времени, соответствующих отдельным людям. Для каждого трека нейросетевая модель формирует компактное векторное представление — эмбединг, — отражающее как семантику действия, так и визуальные характеристики человека.

Центральный вопрос работы: **как объединить локальные представления с нескольких некалиброванных камер в единое представление траектории личности, достаточно информативное для обнаружения угроз на горизонтах от одной до двадцати минут?**

Задача распадается на три самостоятельных подзадачи, каждая из которых в общем случае не решена. Первая — сопоставление людей между камерами без калибровки и при возможной смене внешнего вида. Вторая — агрегация

фрагментов наблюдения в единую временную последовательность с учётом пропусков и рассинхронизации. Третья — оценка аномальности не отдельного действия, а траектории в целом: где человек был, как долго и каким маршрутом.

Декомпозиция аномальности траектории

Ключевой концептуальный вклад данной работы — предложение разложить аномальность траектории на три независимых компонента, каждый из которых фиксирует принципиально разный сигнал угрозы и поддается независимой оценке.

Локальная аномальность характеризует необычность действий в отдельных наблюдаемых клипах. Маскированный автокодировщик типа VideoMAE, предобученный на нормальном поведении, хуже реконструирует нетипичные действия — эту особенность можно использовать как беспараметрический индикатор аномалии [3]. Компонента возрастает при агрессивных движениях, нехарактерных позах или редких действиях. Sultani et al. [8] показывают, что признаки аномальности клипов поддаются обучению даже при слабой разметке.

Пространственная аномальность характеризует нетипичность маршрута между зонами наблюдения. Если большинство посетителей уходят через главный выход, а не через служебный коридор, переход через служебный коридор получит высокое значение этой компоненты. Оценка строится на топологической карте — графе смежности камер с данными о типичных переходах, — которая не требует метрической калибровки. Работы по многокамерному трекингу [7] показывают, что топологическая информация улучшает точность сопоставления даже без геометрической калибровки.

Темпоральная аномальность характеризует необычность времени пребывания в зонах и общей продолжительности траектории. Нормальное время пребывания оценивается статистически по историческим данным; значительное превышение — классический признак слежки или вынашивания умысла. Подобные признаки применялись в ранних работах по детекции аномалий [8] как один из ключевых факторов обучения без детальной разметки.

Итоговая оценка аномальности траектории — взвешенная сумма трёх компонент:

$$A(\Pi) = w_1 \cdot A_{\text{local}} + w_2 \cdot A_{\text{spatial}} + w_3 \cdot A_{\text{temporal}}, w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

Веса подбираются на размеченной выборке или задаются эвристически исходя из специфики сценария. Превышение порогового значения генерирует тревогу с указанием доминирующей компоненты — оператор видит не только факт аномалии, но и её природу.

Концептуальная архитектура

Общий принцип

Архитектура строится на иерархической декомпозиции: каждый уровень конвейера решает одну подзадачу со своими требованиями к скорости и точности. Компоненты заменяются независимо, что упрощает управление вычислительным бюджетом.

Угроза оценивается не на уровне клипа, а на уровне траектории. Для этого нужно три вещи: вектор личности, устойчивый к смене камеры; механизм сопоставления без калибровки; и модель, учитывающая длинную историю при оценке аномальности. Ни один существующий подход не даёт всего этого вместе.

Уровень 1 — детекция и трекинг

На нижнем уровне конвейера работают лёгкий детектор объектов и алгоритм трекинга, удерживающий идентификаторы в пределах одной камеры. YOLOv8 [10] в связке с ByteTrack [11] справляются с этим при частоте, пригодной для потокового видео, и устойчивы к кратковременным перекрытиям. Выход уровня — множество треков с метками времени по каждой камере — единственный вход для всего последующего анализа.

Принципиальное архитектурное решение: все последующие уровни работают не с полным кадром, а только с вырезанными областями вокруг каждого трека. Это снижает вычислительные требования среднего уровня на порядок по сравнению с наивной обработкой всего видеопотока.

Уровень 2 — локальные представления действий и внешнего вида

Для каждого активного трека два параллельных энкодера формируют локальное представление из короткого временного окна кадров. SlowFast R50 [1] классифицирует текущее действие и даёт признаковый вектор, описывающий динамику движения. VideoMAE v2 [3] формирует эмбединг внешнего вида, устойчивый к смене ракурса и освещения в силу самообучения. Объединение двух векторов образует локальное представление трека.

Параллельно VideoMAE фиксирует ошибку реконструкции — числовую меру того, насколько текущий фрагмент отличается от нормального поведения, усвоенного при предобучении. Эта ошибка служит основой локальной компо-

ненты аномальности из раздела 3.2. В ресурсно-ограниченных условиях VideoMAE v2 можно заменить облегчённой версией (ViT-B вместо ViT-g): качество эмбедингов снизится предсказуемо, зато скорость инференса существенно вырастет.

Уровень 3 — мягкое сопоставление личностей между камерами

Задача уровня — связать треки с разных камер, принадлежащие одному человеку, без метрической калибровки. Вместо традиционного жёсткого решения «тот же / не тот» предлагается мягкое сопоставление: для каждой пары треков с разных камер вычисляется вероятность совпадения.

Вероятность определяется двумя факторами. Первый — визуальное сходство эмбедингов: чем ближе векторные представления, тем выше априорная вероятность одной личности. Этот принцип опирается на метрическое обучение, широко применяемое в Re-ID [5, 6]. Второй — физическая совместимость временного разрыва: если расстояние между зонами требует минимум трёх минут, а разрыв составляет тридцать секунд, совпадение исключается вне зависимости от визуального сходства.

Данные о достижимости берутся из топологической карты — простого графа смежности, который не требует точных координат камер и может быть составлен вручную или накоплен автоматически из исторических данных о переходах. Это принципиальное отличие от методов, предполагающих полную геометрическую калибровку [7].

Результат уровня — граф личностей: вершины — активные треки на всех камерах, рёбра — вероятности принадлежности одному человеку. Треки с высокой вероятностью совпадения объединяются в единую цепочку и передаются дальше как связанная последовательность наблюдений.

Уровень 4 — агрегация траектории и оценка угрозы

На верхнем уровне граф-трансформер агрегирует всю накопленную историю наблюдений личности — последовательность локальных эмбедингов, упорядоченных по времени, — в единое траекторное представление. Выбор граф-трансформера обусловлен тем, что наблюдения за личностью естественно образуют граф: узлы — отдельные клипы, рёбра — темпоральные и пространственные связи. Механизм самовнимания позволяет взвешивать важность разных фрагментов истории при формировании итоговой оценки.

Ключевая инженерная трудность: траектория может охватывать сотни клипов за несколько минут, а прямое применение самовнимания даёт квадратичную сложность. Longformer [12] и родственные ему методы предлагают приближения с линейной сложностью — скользящее локальное окно в сочетании с глобальными агрегирующими токенами. Эта схема хорошо ложится на задачу агрегации траекторий: локальное внимание фиксирует краткосрочный контекст, глобальные токены несут долгосрочную память о поведении с момента первого появления в сети камер.

Обучение граф-трансформера возможно через реконструкцию нормальных траекторий, контрастивное обучение на парах нормальных и аномальных последовательностей или прямую регрессию оценки аномальности при наличии слабой разметки. Выбор режима зависит от доступности данных — это отдельная исследовательская задача.

На выходе формируется комбинированная оценка аномальности, объединяющая три компонента из раздела 3.2. При превышении порога система генерирует тревогу с указанием доминирующей компоненты и визуализацией траектории — оператор сразу видит причину срабатывания.

Иллюстративные сценарии

Замечание: приведённые ниже сценарии — концептуальные иллюстрации предполагаемого поведения архитектуры, а не результаты экспериментов или симуляций. Их цель — показать, какие компоненты аномальности были бы активированы в каждом случае и почему однокамерный анализ с задачей не справился бы.

Сценарий 1: розничная кража

Злоумышленник входит в магазин через главный вход, задерживается у полки заметно дольше среднего, затем направляется в примерочную и покидает здание через запасной выход, минуя кассу.

На уровне каждой камеры поведение выглядит обычным: стоит у полки, идёт в примерочную, выходит. Угроза проявляется только на уровне траектории. Темпоральная компонента аномальности начнёт расти, как только время у полки превысит статистическую норму. Пространственная компонента резко возрастет при выходе через запасной вход в обход кассы — такой маршрут редко встречается в нормальном потоке. Комбинированная оценка превысит порог ещё до того, как человек покинет здание — что принципиально недостижимо при анализе только отдельных камер.

Сценарий 2: скоординированное проникновение

Группа из трёх человек входит в здание через разные входы с интервалом в несколько минут. Каждый в отдельности ведёт себя нормально. Спустя некоторое время все трое сходятся в зоне, куда посетители обычно не заходят.

Для каждого из трёх аномальность траектории была бы умеренной и, скорее всего, не превысила бы порог тревоги по отдельности. Архитектура дополняет индивидуальные оценки групповым сигналом: синхронизация траекторий трёх независимых людей, сходящихся в нетипичной точке, сама по себе — сильный признак угрозы. Граф личностей из раздела 4.4 естественным образом представляет такие корреляции между траекториями — в этом одно из ключевых преимуществ графовой архитектуры перед независимой оценкой каждого человека в отдельности.

Сценарий 3: слежка перед нападением

Человек на протяжении нескольких минут перемещается по кругу между несколькими камерами, раз за разом возвращаясь к начальной точке. Затем следует стремительное сближение с другим человеком, которое SlowFast классифицирует как агрессивное действие.

Сценарий показывает ценность накопленного контекста. При анализе только момента агрессии система зафиксировала бы инцидент, не имея информации о его предыстории. Предлагаемая архитектура накапливает нарастающую темпоральную аномальность на протяжении всего периода хождения по кругу, постепенно повышая уровень настороженности. В момент агрессивного действия локальная компонента резко возрастает, и система выдаёт тревогу вместе с полной историей предшествующего поведения. Это принципиально меняет возможности оперативного реагирования.

Ограничения и перспективные направления

Концептуальный характер работы. Статья предлагает архитектурное решение, но не его реализацию. Конкретные гиперпараметры — пороги сходства, веса компонент аномальности, размеры окон внимания — не определены и требуют подбора на реальных или синтетических данных. Проверка подхода на публичных многокамерных бенчмарках — первоочередная задача.

Отсутствие стандартизированных датасетов для многокамерных траекторий угроз. Существующие бенчмарки детекции аномалий — UCF-Crime [8] и ShanghaiTech — оцениваются в однокамерной постановке. Многокамерные датасеты вроде DukeMTMC [7] ориентированы на Re-ID, а не на оценку аномальности траекторий. Отсутствие публичного датасета с аннотированными многокамерными траекториями угроз — самостоятельное ограничение области.

Зависимость от топологической карты. Пространственная компонента опирается на статистику нормальных переходов между зонами. При недостаточном историческом объёме или изменении топологии здания эта статистика окажется смещённой. Методы автоматического обновления карты по потоковым данным требуют отдельного изучения.

Re-ID при смене внешнего вида на длинных горизонтах. VideoMAE v2 снижает чувствительность к смене ракурса и освещения, однако принципиальная смена одежды остаётся открытой проблемой. Обзор [5] фиксирует её как одну из ключевых нерешённых задач Re-ID. Включение биомеханических признаков на основе скелетного представления [13, 14] в качестве дополнительного канала выглядит перспективным направлением.

Вычислительный бюджет. Полный конвейер с VideoMAE v2 ресурсоёмок. Для развёртывания на граничном оборудовании потребуется замена на облегчённый энкодер с ожидаемым снижением точности представлений. Компромисс между качеством и затратами в контексте данной архитектуры остаётся открытым вопросом.

Этические и регуляторные аспекты. Система, строящая многоминутные траектории личностей, неизбежно затрагивает вопросы приватности. Перспективный путь — анонимизирующий предпроцессинг: замена RGB на скелетное представление [13, 14] до формирования эмбединга позволила бы работать с поведенческими паттернами без хранения биометрически идентифицируемых данных. GDPR требует закладывать подобные ограничения в архитектуру с самого начала, а не добавлять задним числом.

Заключение

Многокамерное слияние без калибровки для обнаружения угроз остаётся одним из наиболее существенных разрывов между академическими возможностями глубокого обучения и требованиями реальных систем видеонаблюдения. SlowFast [1], Video Swin [2], VideoMAE v2 [3] показывают высокую точность на однокамерных бенчмарках, однако ни по конструкции, ни по постановке обучения не решают задачу агрегации угрозы как многокамерной траектории.

Статья вносит три концептуальных вклада. Во-первых, формулирует задачу многокамерного обнаружения угроз как самостоятельную нерешённую проблему, явно обозначая разрыв между однокамерными возможностями существующих архитектур и реальными сценариями. Во-вторых, предлагает декомпозицию аномальности траектории на три

независимых компонента — локальный, пространственный и темпоральный, — каждый из которых фиксирует свой сигнал угрозы и опирается на принципы, апробированные в смежных работах [8, 7]. В-третьих, описывает иерархический конвейер, объединяющий существующие модели с граф-трансформером для агрегации траекторий, и предлагает механизм мягкого сопоставления личностей без метрической калибровки.

Три иллюстративных сценария показывают, что подход концептуально способен обнаруживать угрозы, невидимые для однокамерных систем, — и делать это до реализации угрозы. Создание стандартизированных многокамерных датасетов с аннотированными траекториями и экспериментальная проверка архитектуры остаются задачами для дальнейшей работы.

Литература:

1. Feichtenhofer C., Fan H., Malik J., He K. SlowFast networks for video recognition // IEEE ICCV. — 2019. — P. 6202–6211.
2. Liu Z., Ning J., Cao Y. et al. Video Swin Transformer // CVPR. — 2022. — P. 3202–3211.
3. Wang L., Huang B., Zhao Z. et al. VideoMAE V2: Scaling video masked autoencoders with dual masking // CVPR. — 2023. — P. 14549–14560.
4. Wojke N., Bewley A., Paulus D. Simple online and realtime tracking with a deep association metric // ICIP. — 2017. — P. 3645–3649.
5. Ye M., Shen J., Lin G. et al. Deep learning for person re-identification: A survey and outlook // IEEE TPAMI. — 2022. — Vol. 44(6). — P. 2872–2893.
6. He L., Wang Y., Liu W. et al. Foreground-aware Pyramid Reconstruction for alignment-free occluded person re-identification // ICCV. — 2019. — P. 8450–8459.
7. Ristani E., Solera F., Zou R. et al. Performance measures and a data set for multi-target, multi-camera tracking // ECCV. — 2016. — P. 17–35.
8. Sultani W., Chen C., Shah M. Real-world anomaly detection in surveillance videos // CVPR. — 2018. — P. 6479–6488.
9. Tian Y., Pang G., Chen Y. et al. Weakly-supervised video anomaly detection with robust temporal feature magnitude learning // ICCV. — 2021. — P. 4975–4984.
10. Jocher G. et al. Ultralytics YOLOv8. — 2023. — URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
11. Zhang Y., Sun P., Jiang Y. et al. ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box // ECCV. — 2022. — P. 1–21.
12. Beltagy I., Peters M. E., Cohan A. Longformer: The long-document transformer // arXiv:2004.05150. — 2020.
13. Xu Y., Zhang J., Zhang Q., Tao D. ViTPose: Simple vision transformer baselines for human pose estimation // NeurIPS. — 2022. — Vol. 35.
14. Стародубцев И. С. Модели, алгоритмы и программный комплекс для построения естественного человеко-компьютерного взаимодействия на основе жестов: дис.... канд. техн. наук. — 2024.

Новые возможности цифровых приборов учета электроэнергии

Деревянко Иван Александрович, студент

Научный руководитель: Кульмаиринов Серик Алгожаевич, кандидат технических наук, и. о. доцента, академик МАИН
ESIL University (г. Астана, Казахстан)

В статье рассмотрены положительные стороны и проблемы дальнейшего развития цифрового комплекса учета электроэнергии «Автоматизированная система коммерческого учёта и контроля энергоресурсов» (АСКУЭ). Рассмотрены современные способы учета электроэнергии (тарификация), приводится справка из истории создания электрического счетчика и об учете электроэнергии в энергетической отрасли Казахстана. Исследован способ сбора данных от счетчиков по радиоканалу и сети 0,4 кВ, показана эффективность такого вида сбора информации в энергетике, выгоде и удобстве АСКУЭ по сравнению с предыдущей, существовавшей системой учета.

Ключевые слова: энергетика, электроэнергия, учет, цифровые счетчики, АСКУЭ, ИС, тарификация.

Объединенный цифровой комплекс аппаратных и программных средств традиционно применяется в энергетической отрасли Республики Казахстан под названием «Автоматизированная система коммерческого учёта и контроля энергоресурсов». В странах СНГ этот комплекс сокращенно именуют как АСКУЭ. Он предназначен для сбора, передачи, обработки и анализа данных о потреблении энергии (преимущественно электричества).

Перечислим основные мотивы использования АСКУЭ в направлении энергетики РК:

- повышение точности и оперативности учёта электрической энергии;
- снижение трудозатрат в транспортировке электричества;
- обнаружение потерь, утечек и несанкционированного подключения к подстанциям энергетики;
- возможность анализа потребления энергии в реальном времени;
- дальнейшее прогнозирование развитие энергетической отрасли страны.

Таким образом, объектом исследования в предлагаемой статье являются автоматизированные системы и комплексы учета энергоресурсов, а именно электроэнергии. Технические средства АСКУЭ состоят из трансформаторов тока (ТТ), через эти устройства осуществляется подключение счетчиков учета электроэнергии. До настоящего времени все еще существуют проблемы выбора моделей ТТ для эксплуатации. Поэтому все более ужесточаются требования к монтажу и эксплуатации вторичных цепей ТТ [1].

Из-за всеобщего применения в учете электроэнергии более надежных в эксплуатации счетчиков, в энергетике наиболее широко распространены индукционные счетчики в системах АСКУЭ. В наш цифровой век активно используются микропроцессорные счетчики электроэнергии (например, счетчик Альфа — Фирма АBB — ASEA BROWN BOVERI).

До появления АСКУЭ привязка показаний счетчиков к реальному времени в значительной степени зависела от часов работы инспекторов (операторов) отделов энергетики акиматов областей РК и миллионных городов Астаны, Алматы и Шымкента. Именно они осуществляли учет времени электроэнергии на местах в виде записи показаний счетчиков.

Временная погрешность такого учета лежала в диапазоне от нескольких часов до нескольких суток, подчас в несколько раз превышая погрешность учета самим счетчиком. Фактор высокой стоимости энергоресурсов обусловил в последние годы кардинальные изменения в отношении к организации энергетического учета. Под давлением рынка потребители приходят к пониманию той простой истины, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет энергии современными микропроцессорными счетчиками.

В свое время первый шаг в направлении создания продукта АСКУЭ был сделан в области систем технического и коммерческого учета электрической энергии, когда появились устройства формирования импульсов и сумматоры в виде устройств сбора данных, а также электронные счетчики импульсов. Так появилось первое поколение АСКУЭ.

Сейчас современные АСКУЭ в нашей стране являются масштабными системами, выполняющими одновременно измерение и учет количества энергии и энергоресурсов различного рода по территориально распределенным точкам учета и работающими в реальном времени с последующей передачей информации по иерархическому уровню.

Особую значимость АСКУЭ получила в электроэнергетике. В зависимости от требований современные цифровые счетчики должны в любой момент времени могут оперативно передавать необходимые данные по различным каналам телекоммуникации на диспетчерские пункты энергоснабжающих предприятий для оперативного контроля и экономических расчетов потребления электроэнергии.

Не менее важную роль играют всевозможные сервисные функции, такие как дистанционный доступ к счетчику, к информации о потребленной энергии и многие другие [2].

Наличие цифрового дисплея, управляемого от микроконтроллера, позволяет программным образом устанавливать различные интеллектуальные режимы вывода информации, например, выводить на дисплей информацию о потребленной энергии за каждый месяц, по различным тарифам.

Первые счётчики электроэнергии для переменного тока разработаны в 1888 году. На основании этой разработки в 1899 году был усовершенствован индукционные счётчики электроэнергии. Вследствие возрастающей надёжности и малой себестоимости, данные счетчики до сих пор массово изготавливаются, именно с их помощью производят большую часть измерений электроэнергии.

С изобретением динамо-машины (1867) появилась возможность вырабатывать электроэнергию в больших количествах. Первой областью массового применения электричества стало освещение. Когда этот новый продукт под названием «электроэнергия» начали продавать, возникла необходимость определить цену. Однако было неясно, в каких единицах следует вести учет и какие принципы измерения были бы наиболее удобными.

С момента появления первого электромеханического счетчика электрической энергии ее учет осуществлялся путем записи показаний счетных механизмов и занесения их в соответствующий документ [3–5].

Идея технических средств автоматизированного дистанционного считывания давно известна, но практическая реализация началась в промышленно развитых странах только в 70–80-е годы XX века, когда появились интегральные технологии, позволившие сделать технические решения экономически приемлемыми для массового применения.

В дальнейшем волна компьютеризации вычислительных процессов привела к появлению и быстрой смене новых поколений АСКУЭ. С распадом плановой экономики в СССР закончилась эпоха практически неограниченных и дешевых энергоресурсов, когда их доля в себестоимости продукции составляла всего лишь несколько процентов.

На сегодняшний день из-за многократного удорожания энергоресурсов их доля в себестоимости продукции для многих промышленных предприятий резко возросла и составляет 20–30 %, а для наиболее энергоемких производств достигает 40 % и более.

Под давлением рынка потребители приходят к пониманию, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет электроэнергии. На рисунке 1 представлена архитектура и принцип функционирования приборов учета электроэнергии в использовании микропроцессорных систем учета показателей таких приборов.

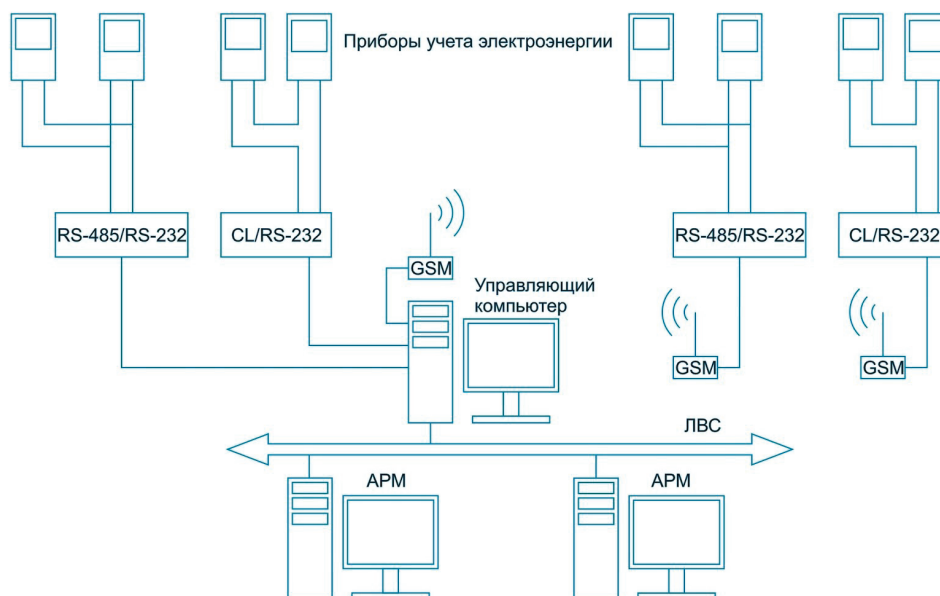


Рис. 1. Архитектура и принцип функционирования цифровых приборов учета электроэнергии

Сейчас в обычном режиме выделяют 3 уровня системе АСКУЭ: нижний, средний и верхний. Нижний уровень — интеллектуальные электрические счётчики. Средний уровень — устройства сбора и передачи данных (УСПД, модемы, преобразователи интерфейсов). Верхний уровень — центр сбора и обработки (сервер или серверный комплекс).

В такой архитектуре счётчики регистрируют параметры потребления, устройства сбора опрашивают их и передают данные на сервер. На сервере данные обрабатываются, формируются отчёты, прогнозы и сигналы тревоги при превышении лимитов (рисунок 2).



Рис. 2. Условия функционирования счетчиков в многоквартирном жилом доме

Рассмотрим преимущества и сложность внедрения такой архитектуры. К преимуществам относятся: точность и автоматизация учёта, экономический эффект, оперативность реагирования, аналитика и прогнозирование, масштабируемость. Однако имеются и сложности реализации такой архитектуры: высокие начальные затраты, сложность интеграции, кибербезопасность, зависимость от качества каналов телекоммуникации, несовместимость стандартов по учету электроэнергии, длительная окупаемость на малых объектах предпринимательства.

На промышленных предприятиях внедрение АСКУЭ показывает значительный экономический эффект за счёт контроля пиковых нагрузок и энергопотребления. Системы могут внедряться как на отдельных объектах, так и на уровне целых районов (рисунок 3) области страны.

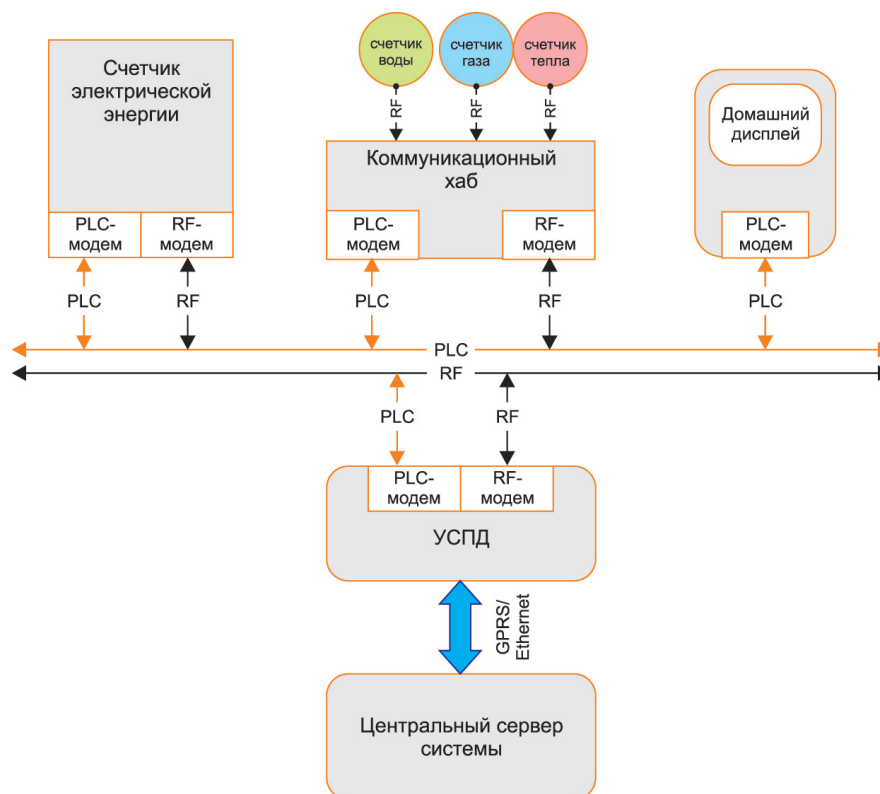


Рис. 3. Стандартный вид организации каналов телекоммуникации для функционирования АСКУЭ

Современные достижения Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования нагрузки, и обнаружения наличия аномалий в энергетической отрасли, а также блокчейна для обеспечения достоверности данных учёта энергии, интеграции систем энергоменеджмента позволят еще более улучшить требования стандартов в отраслях электроэнергетики.

Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. Сейчас поставщики и потребители стараются создавать на своих объектах автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ). При наличии современной АСКУЭ потребитель полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, приведя затраты по энергоресурсам на минимум.

Отметим, что развитие тарифных систем в Казахстане, гармонизирующих противоречивые интересы поставщика и потребителя энергоресурсов, соответствует мировой практике. Сейчас применяется от трёх до шести уровней оплаты, потребленной электроэнергии. К примеру, в Гонконге три уровня, в Шанхае — четыре, в Южной Корее — пять, в Казахстане — три.

Новейшие разработки позволяют снимать показания без участия потребителя и контролёра, все эти операции производит компьютер. В настоящее время имеется возможность производить сбор данных одним вводно-распределительным устройством сразу с 1000 счетчиков.

На рисунке 4 приведен способ сбора данных от счетчиков сети 0,4 кВ. Здесь представлены 2 вида организации учета электроэнергии. В первом случае у потребителей установлены счетчики с радиомодемами и передача информации на

УСПД проходит путем беспроводного соединения по каналу радиосвязи, далее по каналу радиосвязи данные передаются в базу компании сбыта электрической энергии. Во втором случае у потребителей установлены счетчики с GSM модемом, передача данных на УСПД и сервер компании проходит по кабельной линии. В обоих случаях АСКУЭ обеспечивает точный и достоверный учет отпущенной электроэнергии, контроль баланса полученной и отпущенной электроэнергии.

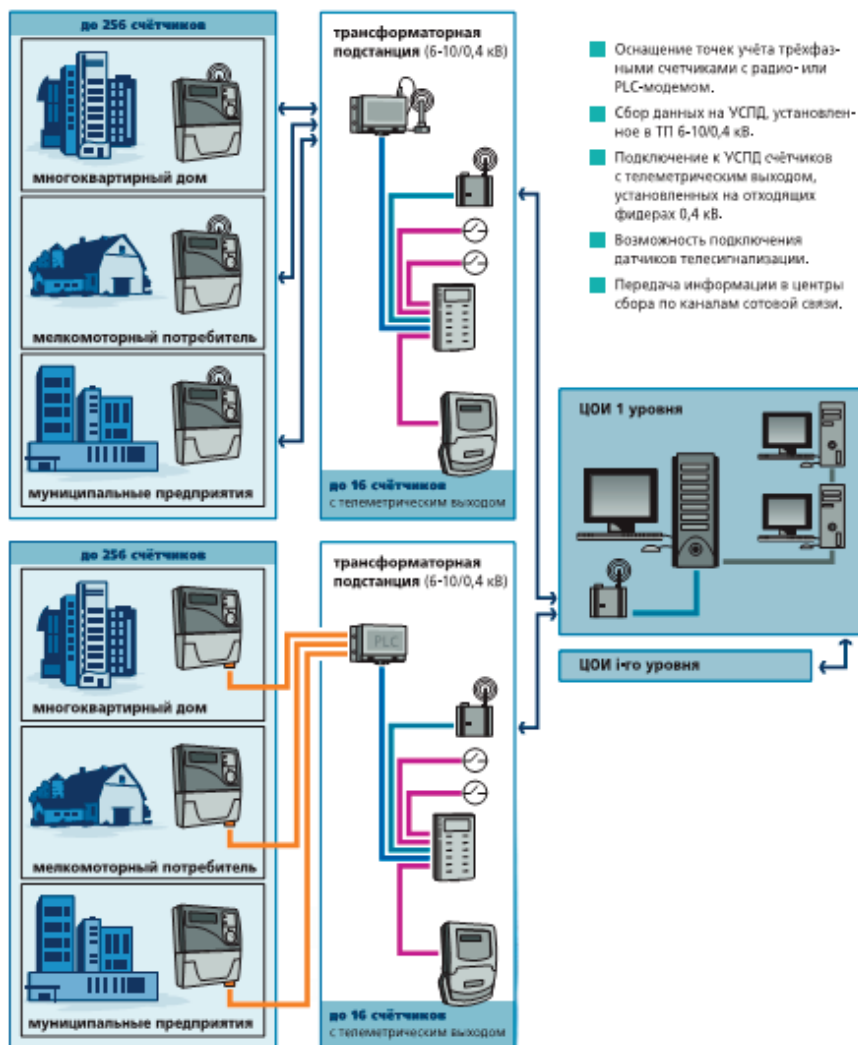


Рис. 4. Сбор данных от счетчиков по радиоканалу и сети 0,4кВ

В завершение статьи сделаем вывод, что АСКУЭ призвана помочь современному потребителю электроэнергии (и физическому, и юридическому лицу), а именно комплекс может обеспечивать [6]:

- достоверность учёта электроэнергии и мощности;
- контроль качества получаемой и потребляемой электроэнергии
- анализ результатов и выработку решений;
- проведение различных мероприятий по рациональному расходу электроэнергии и выравниванию потребляемых мощностей в определённые периоды времени;
- оптимизацию и управление нагрузкой потребителей;
- снижение платежей за потребляемую электроэнергию [7].

Одним из факторов снижения затрат на оплату электроэнергии, связанных с внедрением АСКУЭ, является повышение класса точности счётчиков электроэнергии (например, 0,2 вместо 2).

Внедрение АСКУЭ в составе электроэнергетики является необходимым условием перехода к оплате по дифференцированным тарифам за электроэнергию и является стратегическим направлением повышения эффективности энергетического потенциала страны.

Таким образом, создание информационной системы АСКУЭ является необходимым инструментом современного учёта электроэнергии и управления энергопотреблением даже в масштабе энергетической отрасли Казахстана. При гар-

моничном внедрении и эксплуатации в современной цифровой экономике Казахстана АСКУЭ способна приносить существенный экономический эффект. Однако такие мероприятия требуют решения ряда современных технических, экономических и организационных задач.

Литература:

1. Счетчик электрической энергии переменного тока статический «Гран-Электро СС-301». Руководство по эксплуатации СТРЭ 31.00.000 РЭ. Гран-Система-С. — Минск, 2009. — 35 с.
2. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии АСКУЭ «Гран-Электро»: перечень оборудования // Вып. № 1. — Минск, 2010.
3. Зайцев С. А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учебное пособие для студ. сред. проф. образования / С. А. Зайцев, А. Н. Толстов, Д. Д. Грибанов, Р. В. Меркулов. — М: Издательский центр «Академия», 2009. — 224 с.
4. СТБ 2096–2010. Государственный стандарт Республики Беларусь. Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. Общие требования. — Минск: БелГИСС, Госстандарт, 2010. — 32 с.
5. Филиппенко К. А. Автоматизированная самоорганизующаяся беспроводная система контроля и учета электроэнергии АСКУЭ «Гран-Электро»-RF с передачей данных по радиоканалу на частоте 868 МГц и возможностью доступа к системе через сеть Интернет / К. А. Филиппенко // Энергия и менеджмент. — 2013. — № 1. — С. 28–31.
6. Забелло, Е. П. Информационное обеспечение коммерческого и технического учета электрической энергии при ее генерации, передаче, распределении и потреблении / Е. П. Забелло, А. Н. Евсеев // Промышленная энергетика. — 2007. — № 12. — С. 7–12.
7. Гуртовцев А. Л. Современные принципы приборного учета электроэнергии. / А. Л. Гуртовцев // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2008. — № 1. — С. 11–17.

Информационная безопасность в нынешних реалиях: вызовы, технологии и человеческий фактор

Карасаев Медет Айтасович (г. Актобе, Казахстан)

В статье рассматриваются современные вызовы в сфере информационной безопасности, обусловленные стремительным развитием цифровых технологий и изменением ландшафта киберугроз. Анализируются ключевые проблемы защиты данных в условиях гибридной войны, роста внутренних атак и внедрения систем искусственного интеллекта. Особое внимание уделяется человеческому фактору как наиболее уязвимому звену любой системы защиты. На основе анализа актуальных источников и публикаций в научной периодике предлагаются подходы к построению эффективной стратегии информационной безопасности, включая внедрение SIEM-систем и мониторинг целостности файлов.

Ключевые слова: информационная безопасность, киберугрозы, SIEM-системы, внутренние атаки, человеческий фактор, защита информации, цифровая экономика.

Information Security in Current Realities: Challenges, Technologies, and the Human Factor

The article examines modern challenges in the field of information security caused by the rapid development of digital technologies and the changing landscape of cyber threats. The key problems of data protection in the context of hybrid warfare, the growth of insider attacks, and the implementation of artificial intelligence systems are analyzed. Special attention is paid to the human factor as the most vulnerable link in any security system. Based on the analysis of relevant sources and publications in scientific periodicals, approaches to building an effective information security strategy, including the implementation of SIEM systems and file integrity monitoring, are proposed.

Keywords: information security, cyber threats, SIEM systems, insider attacks, human factor, information protection, digital economy.

Постановка проблемы

Современное общество характеризуется как активно развивающееся информационное общество. Процессы

цифровизации охватили все сферы деятельности человека: от государственного управления и экономики до образования и повседневной жизни. Внедрение электронных баз данных, систем электронного документо-

оборота и облачных технологий, безусловно, повышает эффективность работы, но одновременно создает новые уязвимости [7]. В этих условиях вопрос обеспечения информационной безопасности личности, общества и государства выходит на первый план, требуя пересмотра существующих подходов к защите информации.

Актуальность темы обусловлена несколькими факторами. Во-первых, наблюдается количественный и качественный рост кибератак, которые становятся более изощренными и целенаправленными. Во-вторых, геополитическая напряженность трансформирует информационное пространство в арену гибридного противостояния, где информационное оружие используется наравне с традиционными средствами ведения конфликта [7]. В-третьих, внедрение новых технологий, таких как искусственный интеллект и квантовые вычисления, создает как новые возможности для защиты, так и принципиально новые угрозы [4].

Анализ последних исследований и публикаций

Проблематика информационной безопасности находит широкое отражение в современных научных исследованиях. В журнале «Молодой ученый» регулярно публикуются работы, посвященные различным аспектам данной темы. Так, в статье Т. Х. Джуракулова, В. А. Евстропова и А. А. Петросяна «Защита корпоративных сетей от внутренних атак» рассматриваются методы противодействия угрозам, исходящим от сотрудников организации, которые, по статистике, составляют значительную долю всех инцидентов информационной безопасности [4]. Авторы справедливо отмечают, что традиционные средства защиты, ориентированные на внешние угрозы, часто оказываются бессильны перед действиями инсайдеров.

В работе Ж. К. Наргузиной «Внедрение мониторинга целостности файлов на примере SIEM Wazuh с открытым исходным кодом» анализируются возможности систем класса SIEM (Security Information and Event Management) для обнаружения аномалий и своевременного реагирования на инциденты [1]. Особую ценность данному исследованию придает рассмотрение решения с открытым исходным кодом, что делает его доступным для организаций с ограниченным бюджетом.

Проблема использования новых технологий в деструктивных целях поднимается в статье Т. Х. Джуракулова, В. А. Евстропова, А. А. Петросяна и И. Ф. Михалевича «Использование квантовых компьютеров при атаке на RSA» [4]. Авторы обоснованно указывают на то, что развитие квантовых вычислений ставит под сомнение надежность существующих криптографических алгоритмов, что требует заблаговременной разработки постквантовых методов шифрования.

Несмотря на значительное количество публикаций по отдельным аспектам информационной безопасности, сохраняется потребность в комплексных исследованиях, учитывающих взаимосвязь технологических, организационных и человеческих факторов в их совокупности.

Цель статьи

Целью настоящей работы является выявление ключевых вызовов в сфере информационной безопасности, обусловленных современными реалиями, и определение направлений совершенствования систем защиты информации с учетом комплексного подхода, включающего технологические, организационные и человеческие аспекты.

Изложение основного материала исследования

Трансформация угроз информационной безопасности

Современный ландшафт киберугроз характеризуется рядом принципиальных изменений по сравнению с ситуацией десятилетней давности. Если ранее основную опасность представляли массовые атаки с использованием вирусов и червей, то сегодня доминируют целенаправленные (таргетированные) атаки, ориентированные на конкретные организации или даже отдельных лиц. Злоумышленники все чаще используют сложные многоступенчатые схемы, сочетающие методы социальной инженерии, эксплуатацию уязвимостей программного обеспечения и использование легитимных инструментов администрирования для закрепления в инфраструктуре жертвы.

Особую тревогу вызывает рост числа атак, связанных с программными-вымогателями (ransomware). В таких атаках злоумышленники не просто похищают данные, но и шифруют их, требуя выкуп за восстановление доступа. При этом атаки все чаще затрагивают критически важные объекты инфраструктуры: медицинские учреждения, энергетические компании, транспортные узлы.

Не менее значимой проблемой является угроза со стороны внутренних нарушителей. Как отмечается в исследовании «Защита корпоративных сетей от внутренних атак», действия инсайдеров могут быть как умышленными (злонамеренными), так и неумышленными (следствие ошибок или недостаточной квалификации) [4]. В обоих случаях последствия могут быть катастрофическими, поскольку внутренний нарушитель уже имеет доступ к защищаемым ресурсам и знает особенности системы защиты.

Человеческий фактор как главная уязвимость

Многочисленные исследования показывают, что в подавляющем большинстве случаев причиной успешных кибератак является человеческий фактор. Сотрудники становятся жертвами фишинговых атак, используют простые или повторяющиеся пароли, пренебрегают правилами безопасности при работе с корпоративными данными на личных устройствах.

Проблема усугубляется тем, что современные методы социальной инженерии становятся все более изощренными. Злоумышленники используют данные из открытых

источников (OSINT) для составления персонализированных сообщений, которые сложно отличить от легитимных. Развитие технологий искусственного интеллекта позволяет создавать дипфейки — поддельные аудио- и видеоматериалы, которые могут использоваться для введения в заблуждение сотрудников и руководства организаций.

Решение проблемы человеческого фактора требует не только внедрения технологических средств защиты, но и систематической работы по повышению культуры информационной безопасности. Регулярное обучение персонала, проведение тренировочных фишинговых атак, формирование у сотрудников понимания личной ответственности за сохранность информации становятся неотъемлемыми элементами комплексной системы защиты.

Технологические средства защиты в современных условиях

В ответ на усложнение угроз развиваются и средства защиты информации. Одним из наиболее эффективных подходов является внедрение систем класса SIEM (Security Information and Event Management). Как показано в работе Ж. К. Наргузиной, такие системы позволяют централизованно собирать и анализировать события безопасности из различных источников (сетевых устройств, серверов, рабочих станций, приложений), выявлять корреляции между событиями и своевременно обнаруживать инциденты [1].

Особого внимания заслуживает возможность использования решений с открытым исходным кодом, таких как Wazuh. Это позволяет организациям с ограниченными финансовыми ресурсами внедрять современные средства мониторинга безопасности без значительных затрат на лицензирование. При этом функциональность таких решений, включая мониторинг целостности файлов, обнаружение уязвимостей и реагирование на инциденты, не уступает коммерческим аналогам [1].

Важным направлением является также внедрение принципов Zero Trust (нулевого доверия). Эта концепция предполагает, что доверие не предоставляется автоматически ни одному пользователю или устройству, независимо от их местоположения (внутри или за пределами корпоративной сети). Каждый запрос на доступ должен проходить аутентификацию, авторизацию и шифрование, при этом доступ предоставляется только в минимально необходимом объеме (принцип наименьших привилегий).

Новые вызовы: искусственный интеллект и квантовые технологии

Развитие технологий создает не только новые средства защиты, но и принципиально новые угрозы. Искус-

ственный интеллект может использоваться злоумышленниками для автоматизации атак, создания убедительных фишинговых сообщений, обхода систем защиты, использующих методы машинного обучения.

Еще более серьезный вызов связан с развитием квантовых компьютеров. Как отмечается в работе Т. Х. Джуракулова, В. А. Евсупова, А. А. Петросяна и И. Ф. Михалевича, алгоритм Шора, реализованный на достаточно мощном квантовом компьютере, способен эффективно решать задачу факторизации больших чисел, на которой основана криптостойкость алгоритма RSA, широко используемого для защиты данных в современных системах [4]. Хотя создание квантового компьютера, способного взломать существующие криптосистемы, пока остается вопросом будущего, необходимость перехода на постквантовые криптографические алгоритмы осознается уже сегодня.

Выводы

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Информационная безопасность в современных реалиях требует комплексного подхода, учитывающего не только технологические, но и организационные, а также человеческие аспекты. Человеческий фактор остается наиболее уязвимым звеном любой системы защиты, что делает необходимым систематическую работу по повышению культуры информационной безопасности персонала.
2. Наблюдается трансформация ландшафта киберугроз в сторону целенаправленных атак, использующих сложные многоступенчатые схемы. Особую опасность представляют внутренние нарушители и атаки с использованием программ-вымогателей.
3. Эффективными средствами противодействия современным угрозам являются внедрение SIEM-систем, позволяющих осуществлять централизованный мониторинг событий безопасности, и переход к архитектуре Zero Trust, предполагающей постоянную проверку каждого запроса на доступ.
4. Развитие новых технологий, включая искусственный интеллект и квантовые вычисления, создает как новые возможности для защиты информации, так и принципиально новые угрозы, требующие заблаговременной разработки адаптивных механизмов защиты.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой методов защиты информации в условиях широкого распространения технологий искусственного интеллекта, а также с практической реализацией постквантовых криптографических алгоритмов в корпоративных системах.

Литература:

1. Наргузина, Ж. К. Внедрение мониторинга целостности файлов на примере SIEM Wazuh с открытым исходным кодом / Ж. К. Наргузина. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 5 (556). — С. 12–15.

2. Джуракулов, Т. Х. Защита корпоративных сетей от внутренних атак / Т. Х. Джуракулов, В. А. Евстропов, А. А. Петросян. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2024. — № 23 (522). — С. 83–86.
3. Джуракулов, Т. Х. Использование квантовых компьютеров при атаке на RSA / Т. Х. Джуракулов, В. А. Евстропов, А. А. Петросян, И. Ф. Михалевич. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 23 (470). — С. 111–113.
4. Джуракулов, Т. Х. SIEM-системы управления событиями / Т. Х. Джуракулов, А. А. Петросян, В. А. Евстропов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 4 (451). — С. 10–11.
5. Чупрова, А. А. Обеспечение информационной безопасности в современном обществе / А. А. Чупрова. — Текст: электронный // Форум молодых ученых. — 2024. — URL: <https://sciup.org/forum-nauka/articles> (дата обращения: 30.03.2026).
6. Кошелев, С. О. Информационная безопасность и человеческий фактор / С. О. Кошелев, А. И. Яцкевич. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 7 (111). — С. 35–38.

Интерфейсы взаимодействия с искусственным интеллектом как инструмент цифрового брендинга в креативных индустриях

Рудин Арсений Александрович, студент магистратуры
Научный руководитель: Дубровин Фёдор Геннадьевич, старший преподаватель
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва)

В статье рассматриваются особенности интерфейсов взаимодействия с искусственным интеллектом и их роль в формировании бренд-опыта в креативных индустриях. Анализируются ограничения современных ИИ-интерфейсов, включая их унификацию и слабую выраженность бренд-идентичности. Предлагается методологическая модель ACSIV, рассматривающая интерфейс как инструмент брендинга.

Ключевые слова: искусственный интеллект, интерфейсы, UX/UI, брендинг, дизайн-системы, креативные индустрии

Современные технологии искусственного интеллекта активно внедряются в цифровые продукты и сервисы, формируя новые модели взаимодействия пользователя с системой. ИИ применяется в широком спектре задач — от генерации контента до аналитики и поддержки творческих процессов. В этих условиях интерфейс становится ключевым элементом, обеспечивающим доступ к возможностям системы и формирующим пользовательский опыт.

Согласно исследованиям в области взаимодействия человека и искусственного интеллекта, интерфейс выполняет не только управляющую, но и коммуникативную функцию, способствуя формированию понимания логики работы системы и уровня доверия пользователя [1]. В отличие от традиционных программных продуктов ИИ-системы характеризуются вероятностным характером работы, что требует адаптации подходов к проектированию интерфейсов.

Анализ современных ИИ-сервисов показывает, что большинство интерфейсов строится на схожих принципах. Наиболее распространенной является диалоговая модель взаимодействия, заимствованная из чат-приложений [2]. Это приводит к формированию унифицированной структуры интерфейсов и снижает их различимость.

Особое значение данная проблема приобретает в контексте креативных индустрий. В отличие от утилитарных сценариев использования ИИ в креативной деятельности

взаимодействие с системой носит исследовательский и итеративный характер. Пользователь работает со множеством вариантов, интерпретаций и промежуточных состояний, а не стремится к получению единственного точного результата.

В таких условиях интерфейс становится частью творческого процесса и влияет на его характер. Структура взаимодействия и способы представления результатов определяют пользовательскую стратегию и восприятие системы [3]. Однако большинство современных ИИ-интерфейсов воспроизводит линейную чат-логику, что ограничивает возможности креативного взаимодействия.

Одной из ключевых проблем является слабая выраженность бренд-идентичности. Несмотря на различия в позиционировании продуктов, интерфейсы ИИ-сервисов часто различаются только визуальными деталями, тогда как структура взаимодействия остается одинаковой. В результате пользовательский опыт становится взаимозаменяемым, а интерфейс не выполняет функцию носителя бренд-ценностей [4].

Дополнительным ограничением является необходимость визуальной нейтральности интерфейсов. В отличие от медийных и маркетинговых продуктов ИИ-сервисы ориентированы на выполнение задач, требующих концентрации пользователя. Это ограничивает использование ярких и доминирующих визуальных решений, так как они могут отвлекать от взаимодействия.

Дополнительным аспектом является влияние интерфейса на когнитивную нагрузку пользователя. В условиях работы с вероятностными системами пользователь вынужден интерпретировать результаты, оценивать их релевантность и принимать решения на основе неполной определенности. В таких сценариях чрезмерная визуальная сложность или неочевидная логика интерфейса могут существенно усложнять взаимодействие. Исследования показывают, что согласованность интерфейсных решений и предсказуемость поведения системы играют ключевую роль в снижении когнитивной нагрузки и формировании доверия к цифровым продуктам [5].

Таким образом, возможности традиционного визуального брендинга оказываются ограниченными. При этом потребность в дифференциации продуктов сохраняется. В этих условиях брендинг смещается из области визуального оформления в область взаимодействия, включая структуру интерфейса, поведение системы и характер пользовательского опыта.

В современных цифровых продуктах взаимодействие с системой становится ключевым фактором формирования ее восприятия. Пользователь оценивает не только визуальные характеристики интерфейса, но и логику взаимодействия и поведение системы. В ИИ-сервисах различия между продуктами формируются не столько через визуальную айдентику, сколько через структуру взаимодействия и характер пользовательского опыта.

Существующие дизайн-системы, широко применяемые в цифровых продуктах, ориентированы преимущественно на стандартизацию интерфейсных элементов и обеспечение визуальной согласованности. Однако они разрабатывались в контексте детерминированных систем, где поведение интерфейса является предсказуемым. В условиях использования искусственного интеллекта, характеризующегося вариативностью и неопределенностью результатов, данные подходы оказываются недостаточ-

ными. Это требует разработки новых методологических моделей, учитывающих не только визуальные, но и поведенческие аспекты интерфейса.

Для решения данной проблемы предлагается методологический подход к проектированию интерфейсов ИИ, основанный на модели ACSIV (Agency, Context, States, Interaction patterns, Visual expression).

Модель ACSIV включает пять взаимосвязанных компонентов:

1. **Agency** — роль ИИ в системе (ассистент, инструмент, соавтор).
2. **Context** — сценарий и условия взаимодействия.
3. **States** — состояния системы и этапы ее работы.
4. **Interaction patterns** — способы взаимодействия пользователя с системой.
5. **Visual expression** — визуальное выражение интерфейса.

Каждый из компонентов модели может рассматриваться как носитель бренд-идентичности. Роль ИИ определяет позиционирование продукта, паттерны взаимодействия формируют стиль коммуникации, состояния системы отражают ее характер, а визуальное выражение закрепляет идентичность на уровне восприятия.

Таким образом, интерфейс рассматривается не только как функциональная система, но и как средство формирования бренд-опыта. Предложенная модель позволяет интегрировать брендинг в структуру взаимодействия без увеличения визуальной нагрузки интерфейса.

В заключение можно отметить, что современные ИИ-интерфейсы требуют переосмысления подходов к проектированию. Переход от визуального брендинга к брендингу через взаимодействие открывает новые возможности для дифференциации продуктов. Предложенная модель ACSIV может рассматриваться как инструмент решения данной задачи и основа для дальнейших исследований.

Литература:

1. Guidelines for Human-AI Interaction / S. Amershi, D. S. Weld et al. // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. — New York: ACM, 2019. — P. 1–13.
2. Fadhil, A. Domain Specific Design Patterns for Conversational User Interfaces / A. Fadhil // Cornell University. — URL: <https://arxiv.org/abs/1802.09055> (дата обращения: 21.01.2026).
3. Tsiakas, K. Unpacking Human-AI Interactions: From Interaction Primitives to a Design Space / K. Tsiakas, D. Murray-Rust // Cornell University. — URL: <https://arxiv.org/abs/2401.05115> (дата обращения: 21.01.2026).
4. Yang, Q. Unremarkable AI: Fitting Intelligent Decision Support into Critical, Clinical Decision-Making Processes / Q. Yang, A. Steinfeld, J. Zimmerman. // Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. — New York: ACM, 2019. — P. 1–11.
5. Hassenzahl, M. 3. User Experience and Experience Design / M. Hassenzahl // The Encyclopedia of Human-Computer Interaction. — URL: <https://ixdf.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/user-experience-and-experience-design> (дата обращения: 21.01.2026).

Автоматизированная оценка качества презентаций на базе нейросетевых моделей

Семёнов Вадим Дмитриевич, студент;

Калининченко Кирилл Сергеевич, студент

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (г. Самара)

В статье рассматривается проблема объективизации и автоматизации процесса оценки качества презентационных материалов в образовательной и профессиональной среде. Предложена архитектура системы автоматизированного анализа, использующая методы глубокого обучения для обработки мультимодальных данных (текстового и визуального контента). Описан процесс формирования эталонного набора данных, архитектура нейросетевой модели регрессии, а также программная реализация системы в виде веб-приложения. Экспериментальные результаты демонстрируют возможность использования предложенного подхода для формирования количественных оценок и качественной обратной связи, сопоставимых с экспертным анализом. Разработанная система способствует снижению субъективности оценки и повышению эффективности подготовки коммуникационных материалов.

Ключевые слова: нейронные сети, глубокое обучение, автоматизированная оценка, анализ презентаций, машинное обучение, веб-приложение, искусственный интеллект, мультимодальный анализ.

Введение

В последние десятилетия развитие вычислительных технологий и увеличение объёмов данных привели к революционным изменениям в области искусственного интеллекта. Одним из ключевых факторов этого прорыва стало активное использование нейронных сетей — математических моделей, вдохновлённых биологическими нейронными системами.

Изначально предложенные ещё в середине XX века, нейронные сети долгое время оставались теоретической концепцией, ограниченной недостатком вычислительных ресурсов и данных. Однако с появлением глубокого обучения, усовершенствованием алгоритмов обратного прохода и развитием параллельных вычислений на графических процессорах, нейронные сети превратились в мощный инструмент решения широкого спектра задач — от распознавания образов и обработки естественного языка, до прогнозирования временных рядов и управления сложными системами. [2, с. 112–115]

Именно эта способность нейронных сетей (решать сложные, неструктурированные задачи) открывает новые горизонты для их применения в областях, где ключевую роль играет коммуникация. Ярким примером является создание и оценка презентаций — одного из ключевых инструментов коммуникации в бизнесе, образовании и научной деятельности. Качество презентации напрямую влияет на восприятие информации, вовлечённость аудитории и эффективность донесения ключевых сообщений. Однако ручная оценка и улучшение презентаций — трудоёмкий и субъективный процесс. Современные технологии, в частности методы искусственного интеллекта (ИИ), позволяют автоматизировать анализ и оптимизацию презентаций, делая этот процесс объективным, масштабируемым и эффективным.

Актуальность работы

1) Презентации — критически важный инструмент в бизнесе и образовании, напрямую влияющий на принятие решений и усвоение информации. Требования к их качеству постоянно растут.

2) Существующий процесс проверки презентаций человеком — субъективный, трудоёмкий и не масштабируемый, что **замедляет и усложняет** работу

3) Современные технологии искусственного интеллекта и глубокого обучения позволяют автоматизировать комплексный анализ визуальных и текстовых данных [2, с. 215–220], но ещё не применялись системно для решения задачи объективной и быстрой оценки качества презентаций.

Цель работы

Разработка и экспериментальная верификация системы автоматизированной оценки качества презентаций на основе методов глубокого обучения, обеспечивающей объективность и масштабируемость анализа.

Основные задачи работы

1) Провести анализ существующих подходов к оценке презентаций и современных методов машинного обучения.

2) Сформировать эталонную коллекцию презентаций, прошедших процедуру экспертной оценки по визуальным, текстовым и структурным критериям качества.

3) Разработать архитектуру нейронной сети, адаптированную для анализа специфики слайдовых данных.

4) Реализовать прототип системы, включающий модули предобработки данных, нейросетевой оценки и формирования интерпретируемого отчета.

5) Провести тестирование системы, измерив точность её работы и сравнив результаты с экспертными оценками и базовыми методами.

Методы исследования

В качестве исходных данных использовались 25 презентации в формате PPTX, подготовленные студентами в рамках курса «Правоведение». Такой выбор обусловлен наличием готового массива работ и возможностью привлечения эксперта — преподавателя данной дисциплины. Все презентации были оценены одним экспертом по 100-балльной шкале на основе общих критериев качества (структура, оформление, содержание). Полученные оценки составили вектор целевых значений `output_data` (диапазон от 8.9 до 96.2 балла).

Извлечение признаков

Из каждой презентации программно извлекались четыре количественных признака, отражающих, с точки зрения эксперта, ключевые аспекты качества:

Общее количество слайдов — полученных через библиотеку `python-pptx`. Предполагается, что слишком короткие или излишне длинные презентации могут снижать оценку.

Общее количество слов — текст из всех слайдов сохранялся в файл и подсчитывалось число слов, разделённых пробелами. Признак косвенно характеризует информационную насыщенность.

Количество ссылок на источники — маркер начала библиографической ссылки. Наличие ссылок повышает академическую ценность работы.

Количество изображений — презентация конвертировалась в PDF с помощью `Aspose.Slides`, после чего библиотекой `PuMuPDF (fitz)` подсчитывалось число встроенных растровых изображений. Признак отражает визуальное разнообразие.

Все признаки формируют вектор $[x_1, x_2, x_3, x_4]$, который подаётся на вход модели.

Архитектура нейросетевой модели

Разработана полносвязная нейронная сеть прямого распространения (`multilayer perceptron`), реализованная с использованием `Keras/TensorFlow` [3, с. 215–218]. Перед обучением признаки нормализовались с помощью `StandardScaler`. После обучения модель и скейлеры сохраняются для использования в веб-приложении.

Формирование текстовой обратной связи

Помимо числовой оценки, система генерирует текстовые рекомендации на основе правил, анализирующих среднее количество слов на слайд (x_2/x_1), количество ссылок (x_3) и количество изображений (x_4). Правила были разработаны эмпирически и реализованы в функции `OTV()`. Несмотря на простоту, такой подход обеспечивает интерпретируемость результатов и полезен для пользователя [1, с. 45–47].

Программная реализация

Система развёрнута как веб-приложение на `Flask`. Пользователь загружает PPTX-файл, после чего в фоновом потоке запускается извлечение признаков, предсказание модели и формирование отчёта. Результат отображается на отдельной странице. Такой интерфейс удобен для тестирования и демонстрации.

Научная новизна работы

1) Разработка системы оценивания, которая не только выдаёт итоговый балл, но и предоставляет обратную связь по конкретным критериям (например, «низкая контрастность», «нехватка ссылок на источники»), что решает проблему «чёрного ящика» для пользователей.

2) Создание корпуса презентаций в качестве эталонной основы для обучения и сравнительного анализа моделей. Поскольку открытые коллекции для подобной задачи отсутствуют, в рамках работы была вручную разработана база презентаций различного качества и тематик.

3) Разработка многомерной оценочной модели, объединяющей анализ визуального дизайна и текстового контента. В отличие от существующих подходов, фокусирующихся на изолированных аспектах (например, только читаемости текста или цветовой палитре), предложенная интегральная модель оценки анализирует и взвешивает два ключевых модуля: визуально-композиционный и текстово-самантический [2, с. 308–310].

Описание Web-приложения

Разработанное веб-приложение реализует трёхзвенную архитектуру клиент-серверного взаимодействия с интегрированной нейросетевой моделью глубокого обучения. Система спроектирована как микросервисное приложение, объединяющее фронтенд-интерфейс на `HTML/CSS/JavaScript`, бэкенд-логику на `Python Flask` и модель машинного обучения на основе `TensorFlow/Keras` [4].

При запуске приложения автоматически открывается веб-браузер с адресом локального сервера (`127.0.0.1:5000`), что обеспечивает немедленный доступ пользователя к интерфейсу системы без необходимости ручного ввода URL. Пользователю предоставляется интуитивно понятный интерфейс с двумя основными разделами:

- Главная страница с формой загрузки презентации
- Информационная страница с дата сетом презентаций

Нейросетевая модель оценки

Извлечение данных

Используется библиотека `python-pptx` для парсинга структуры презентации. Текстовый контент экспортируется в отдельный текстовый файл для последующего ана-

лиза. Выполняется подсчет статистических параметров: общее количество слов, наличие библиографических ссылок.

Применяется Aspose.Slides для преобразования.pptx в формат PDF. Обеспечивается кроссплатформенная совместимость обработки: используется PyMuPDF для извлечения графических элементов из PDF. Выполняется количественный анализ визуального контента

Архитектура модели

Разработанная нейронная сеть представляет собой полносвязную многослойную сеть прямого распространения (Feedforward Neural Network) архитектуры типа «полносвязный перцептрон» (на рис.1 представлено изображение двуслойной нейронной сети такого типа), оптимизированную для регрессионного анализа.

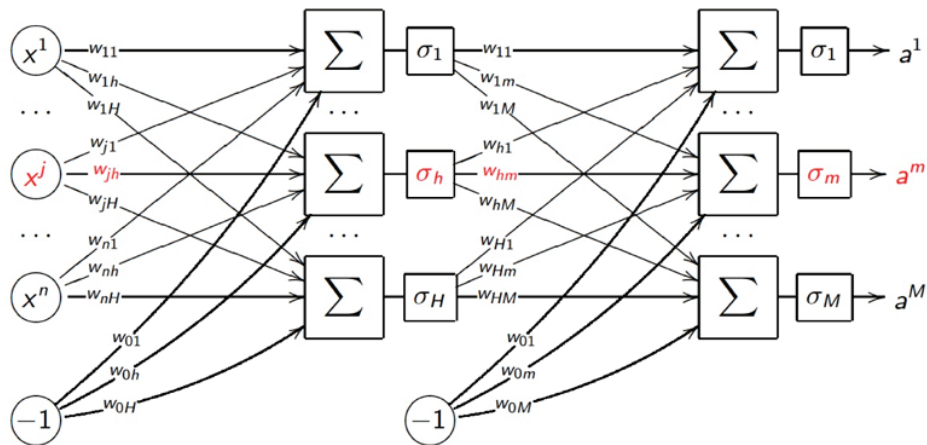


Рис. 1. Полносвязный перцептрон

Архитектура сети состоит из четырех основных компонентов: входного слоя, двух скрытых слоев и выходного слоя. Такая конфигурация позволяет модели выявлять как простые линейные зависимости, так и сложные нелинейные взаимодействия между анализируемыми параметрами презентации [3, с. 220–225].

Входные параметры нормализуются с использованием предобученного стандартного скейлера (StandardScaler), что обеспечивает стабильность модели к вариациям масштаба данных. Нормализованные данные пропускаются через последовательность плотных слоев с функцией активации ReLU.

Система формирует трехуровневый отчет:

1. Количественная оценка: итоговый балл по 100-балльной шкале;
2. Качественный анализ: текстовые рекомендации с конкретными указаниями.

Процесс обучения модели

Для обучения модели была составлена выборка, содержащая 25 примеров презентаций по дисциплине «Правоведение». Эта дисциплина сочетает в себе строгую формальную логику (статьи законов) с необходимостью ясной и убедительной интерпретации (правовая позиция). Такой подход позволяет модели освоить универсальные принципы построения качественной презентации — от структурной целостности до ясности изложения, — которые впоследствии могут быть применены к материалам из любых других дисциплин.

В качестве функции потерь выбрана среднеквадратичная ошибка (Mean Squared Error, MSE), которая вы-

числяет среднее значение квадратов разностей между предсказанными и истинными значениями (экспертной оценки) [3, с. 125–127]. Данная метрика оптимальна для задач регрессии, так как дифференцируема во всех точках, обеспечивает квадратичный штраф за большие ошибки и имеет четкую статистическую интерпретацию.

Для оптимизации параметров модели используется алгоритм Adam (Adaptive Moment Estimation) — адаптивный метод градиентного спуска, который автоматически настраивает скорость обучения для каждого параметра на основе оценок первых и вторых моментов градиентов. Алгоритм Adam сочетает преимущества двух других популярных методов — AdaGrad и RMSProp, демонстрируя высокую эффективность на широком классе задач глубокого обучения [2, с. 189–192].

Экспериментальные результаты и сравнения

Разработанная нейросетевая модель была успешно обучена на коллекции из 25 презентаций, размеченных экспертом в области правоведения. В процессе обучения достигнута высокая степень соответствия предсказанных оценок экспертным: средняя абсолютная ошибка на обучающей выборке составила менее 5 баллов, что свидетельствует о способности модели эффективно аппроксимировать экспертные суждения на основе выделенных признаков.

Сформированные в системе текстовые рекомендации, базирующиеся на анализе соотношения текста, количества ссылок и изображений, продемонстрировали со-

держательность и практическую полезность при тестировании на новых презентациях. Пилотные запуски веб-приложения с файлами, не участвовавшими в обучении, показали, что итоговые оценки и советы модели субъективно согласуются с мнением независимого эксперта, подтверждая корректность заложенных критериев.

Таким образом, предложенный подход доказал свою работоспособность и потенциал для автоматизации оценки презентационных материалов. Полученные результаты служат основой для дальнейшего развития системы — расширения набора признаков, увеличения объёма обучающей выборки и адаптации под различные предметные области.

Сравнительный анализ убедительно подтвердил, что разработанная нейросетевая модель значительно превосходит классические методы машинного обучения, такие как линейная регрессия и случайный лес, по точности предсказания экспертных оценок [1, с. 85–88]. Благодаря способности глубокой архитектуры выявлять сложные нелинейные зависимости между анализируемыми признаками, предлагаемый подход обеспечивает более тонкое и адекватное моделирование экспертных суждений, что открывает широкие перспективы для его применения в задачах автоматизированной оценки презентационных материалов.

Ограничения и перспективы

Следует отметить, что текущий объем выборки (25 примеров) является пилотным и достаточным для доказательства концепции (Proof of Concept), однако требует расширения для повышения обобщающей способности

модели в промышленной эксплуатации [2, с. 405–408]. Перспективные направления развития включают:

1. Увеличение размера обучающей выборки за счет краудсорсинга экспертных оценок.
2. Внедрение методов компьютерного зрения (CNN) для прямого анализа растровых изображений слайдов без промежуточной конвертации в признаки.
3. Адаптация модели под различные предметные области и стили презентаций.

Заключение

Проведённое исследование позволило разработать и внедрить функциональную систему для автоматизированной оценки качества презентаций на базе нейросетевых моделей. Результаты работы подтверждают возможность эффективного применения методов глубокого обучения для анализа презентационных материалов.

Экспериментально подтверждена принципиальная возможность автоматизации экспертной оценки презентаций. Выявлено, что наибольший вклад в итоговую оценку вносят признаки визуального контраста и структурной целостности, в то время как текстовые признаки требуют дальнейшей настройки. Предложенная архитектура системы демонстрирует устойчивость работы и масштабируемость для различных предметных областей.

Таким образом, исследование подтверждает целесообразность и эффективность интеграции технологий искусственного интеллекта в процессы оценки коммуникационных материалов, открывая новые возможности для автоматизации экспертной деятельности в образовательной и профессиональной среде.

Литература:

1. Ветров Д. П., Кропотов Д. А. Алгоритмы выбора моделей и построения коллективных решений в задачах классификации, основанные на принципе устойчивости. Москва, URSS, 2006. 112 с.
2. Просиз Дж., Прикладное машинное обучение и искусственный интеллект для инженеров: Пер. с англ. -Астана: АЛИСТ, 2024. — 432 с.
3. Вьюгин В. В., Математические основы машинного обучения и прогнозирования. Москва, издательство МЦНМО, 2018. 384 с.
4. Информационно-аналитический ресурс по машинному обучению: сайт [Электронный ресурс] // MachineLearning.ru. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php> (дата обращения: 01.04.2026)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Кривые в дорожной отрасли

Кармаджян Артём Ервандович, студент

Научный руководитель: Кириллов Андрей Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент
Институт транспорта и сервиса г. Сочи (Краснодарский край)

В статье рассмотрены различные виды кривых, встречающихся в дорожной отрасли: начиная от простейшей окружности (колесо) и заканчивая сложными кривыми более высоких степеней нелинейности (например, клотоида). Показаны области применения различных кривых, их особенности, достоинства и недостатки в конкретных приложениях.

Ключевые слова: окружность, колесо, круговое движение, циклоида, брахистохрона, переходные кривые, клотоида, кубическая парабола, спираль Корню.

Введение

Математика — царица всех наук и служанка физики. Это известное выражение можно распространить и на другие инженерно-технические (и не только) дисциплины, т. к. математика — это главный инструмент всех наук. Конечно, не обделена вниманием математика и автомобильная отрасль. Например, большое значение в автомобильной отрасли имеют различные кривые. Это, например:

- 1) *окружность* (колесо, перекрестки с круговым движением, шкивы ременных передач и др.);
- 2) *эвольвента*, которая описывает профиль зуба шестеренок;
- 3) *циклоида* и *брахистохрона* — траектория точки на ободе катящегося колеса;
- 4) различные переходные кривые (*клотоида*, *кубическая парабола*) с помощью которых устраивают повороты на дорогах для более комфортного их прохождения.

Основные разделы математики, изучающие кривые:

- Дифференциальная геометрия: изучает гладкие кривые, их кривизну, кручение, длину дуги и др. методами дифференциального и интегрального исчисления.
- Аналитическая геометрия: исследует кривые (особенно линии 2-го порядка: эллипс, гипербола, парабола) с помощью метода координат и уравнений.
- Алгебраическая геометрия: изучает кривые, задаваемые полиномиальными уравнениями.
- Топология: изучает общие свойства кривых, которые не меняются при непрерывных деформациях (форма, связность).

Вычислительная геометрия: занимается алгоритмами построения и обработки кривых в компьютерной графике (сплайны, кривые Безье).

В данной работе рассмотрим некоторые из основных видов кривых с точки зрения их приложений в автомобильной отрасли.

1. Окружность

1.1 Кольцевые пересечения (перекрестки с круговым движением)

Это самое наглядное применение окружности в автомобильной отрасли. Вся геометрия такого перекрестка строится вокруг центрального островка, который, как правило, имеет форму круга (рис. 1). Дороги примыкают к этому кольцу по касательной или через специальные переходные кривые.

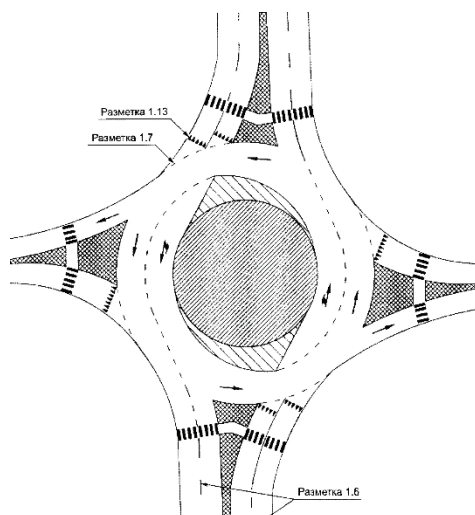


Рис. 1. Участок автодороги с круговым движением

В зависимости от размера и места расположения, такие перекрестки делятся на:

- Кольцевые пересечения малого радиуса

Их внешний диаметр составляет от 12 до 20 метров. Они используются на небольших улицах, в жилых зонах и на площадях, где нет места для большого кольца. Из-за малого радиуса водители вынуждены снижать скорость до 20–30 км/ч, что повышает безопасность. Пропускная способность такого перекрестка может достигать 1800 машин в час.

- Классические кольцевые пересечения (среднего и большого радиуса)

Их диаметр может составлять от 20 до 50 метров и более. Они применяются на магистральных улицах и позволяют обеспечить более высокую пропускную способность и плавность движения транспортных потоков.

1.2 Колесо

Колесо — главный инструмент воздействия на дорогу (рис. 2). Анализ взаимодействия колеса с покрытием показывает, что силы от него действуют в разных плоскостях, создавая сложные напряжения. Это приводит к одному из самых распространенных видов разрушения дорог — колееобразованию.



Рис. 2. Колесо (источник: <https://cs.p-static.ru/image/57757292/original.jpg>)

- Геометрическая модель и кинематика

В инженерных расчетах колесо описывается как тело вращения со сложной системой координат. Его геометрия определяет пятно контакта — область, где все нагрузки передаются на дорогу. Такие параметры, как свободный радиус (половина наружного диаметра недеформированной шины) и угол увода, критически важны для понимания того, как автомобиль вписывается в повороты (в т. ч. на кольцевых пересечениях) и как распределяется нагрузка на дорожное полотно.

2. Циклоида

Циклоида — это кривая, которую описывает точка на окружности колеса, катящегося без скольжения по прямой линии (рис. 3). В зависимости от положения точки относительно центра колеса различают три основных вида циклоидальных кривых (трохоид). Ниже приведены их математические формулы и основные свойства.

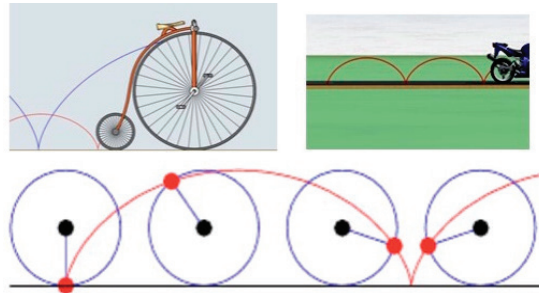


Рис. 3. Циклоида — траектория точки на ободе катящегося колеса (источник: <https://stihi.ru/pics/2021/06/25/3171.jpg>)

Обыкновенная циклоида (рис. 4)

Точка находится на ободе колеса (на расстоянии R от центра). Параметрически уравнение циклоиды выглядит:

$$x = R(t - \sin t), y = R(1 - \cos t), \quad (1)$$

где R — радиус катящегося круга, t — параметр (угол поворота круга в радианах; $t=0$ соответствует точке касания с прямой).

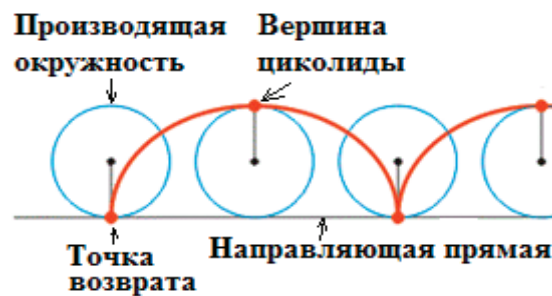


Рис. 4. Обыкновенная циклоида

Примеры

Траектория движения колеса. В курсах теоретической механики и динамики транспортных средств изучается траектория движения точек колеса относительно земли.

Мгновенный центр скоростей: Точка колеса, касающаяся дороги, неподвижна. Точка на ободе движется именно по циклоиде.

Практическая польза: используется при расчетах на прочность элементов подвески и шин, а также при моделировании процессов износа дорожного покрытия и образования колеи, так как позволяет точно рассчитать, с какой скоростью и ускорением частицы шины врезаются в микронеровности асфальта.

3. Брахистохрона (тавтохрона, перевернутая циклоида)

Используется при проектировании велодорожек и рамп (рис. 5).

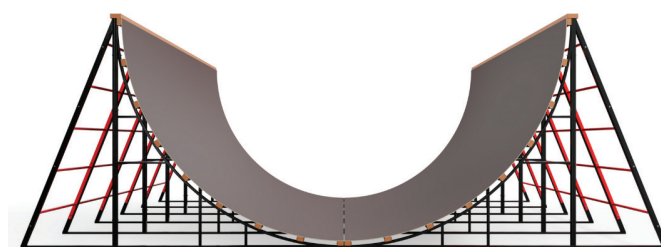


Рис. 5. Рампа для спортивной площадки (источник: <https://papa-joy.ru/upload/iblock/5eb/4v82s5oflbuc4nxrrop88z9yf7l81ltq.png>)

Хотя это не автомобильная дорога общего пользования, а инфраструктура для спорта и рекреации, она проектируется по тем же инженерным принципам, что и дорожные сооружения (как часть циклоиды или близкой к ней кривой). Именно эта кривая обеспечивает оптимальный разгон и безопасное приземление при переходе энергии из поступательного движения во вращательное. Это прямое следствие свойства брахистохроны (рис. 6) (кривой наискорейшего ската) — *таутохронности*.

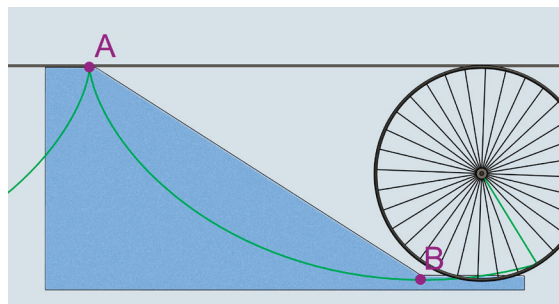


Рис. 6. Брахистохрона (источник: <https://en.etudes.ru/.data/etudes/cycloid/05@uhd.jpg>)

4. Переходные кривые

Переходная кривая используется для того, чтобы кривизна трассы изменялась плавно, а не скачкообразно в месте сопряжения элементов пути с разной кривизной (прямая и круговая кривая, круговые кривые разных радиусов или направленные в разные стороны в виде буквы S (обратные кривые)). При резком изменении кривизны пути поперечные силы, действующие на транспортное средство, изменяются скачкообразно, что приводит к повышенному динамическому воздействию на дорогу (путь) и экипажную часть, увеличивая их износ повышает вероятность вылета за пределы дороги (схода с рельсов) или опрокидывания транспортного средства и вызывает дискомфорт у пассажиров.

Особенно важно устройство переходных кривых при высоких скоростях движения, применении путевых кривых малого радиуса, тяжёлом подвижном составе, пропуске длиннобазового подвижного состава (особенно ПС с длинной жёсткой базой, например, локомотивов) (рис. 7).

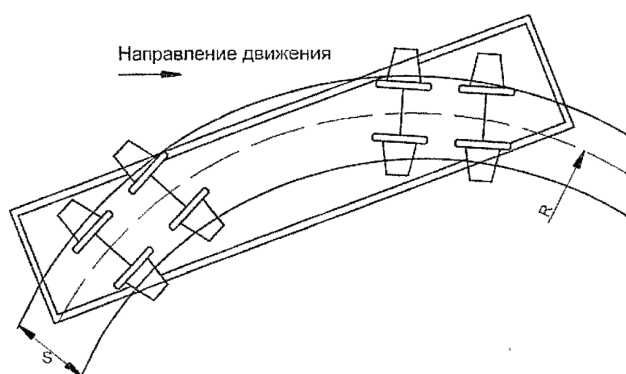


Рис. 7. Переходная кривая на железной дороге (источник: <https://cdn.railstorg.ru/wp-content/uploads/image-24.png>)

4.1 Кубическая парабола

Кубическая парабола — это график функции, заданной уравнением вида

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (2)$$

где $a \neq 0$. Простейший и самый известный случай — это функция $y = x^3$. Это базовая, «родительская» кубическая парабола. Она кардинально отличается от квадратичной параболы ($y = x^2$). У неё нет «чаши», вместо этого она имеет изгиб (перегиб) и уходит в разные бесконечности своими «рукавами». Называется «кубической» именно из-за наличия куба переменной. Это гладкая, симметричная (нечетная) кривая, проходящая через начало координат. Она всегда возрастает, меняя свою выпуклость в точке перегиба. В общем виде ($y = ax^3 + \dots$) она может иметь «горб» и «впадину», но всегда сохраняет свой характерный изгиб и уходит своими ветвями в бесконечность (одна вверх, другая вниз, в зависимости от знака a).

Уникальные черты, которые отличают ее от других графиков (например, от прямой или квадратичной параболы):

Центральная симметрия: График простейшей кубической параболы ($y = x^3$) симметричен относительно начала координат. Если функцию усложнить ($y = ax^3 + \dots$), симметрия пропадает, но точка перегиба остается центром «равновесия».

Точка перегиба: Это место, где график меняет направление своей кривизны. С одной стороны, от этой точки он закручен как чаша (вогнут), с другой — как холм (выпукл). Это единственная точка, где кривая «протыкает» свою касательную.

Отсутствие глобальных границ: В отличие от квадратичной параболы (которая упирается в вершину и идет только вверх или только вниз), кубическая всегда уходит в разные стороны: один конец — в минус бесконечность, другой — в плюс бесконечность.

Наличие двух «лиц»: В зависимости от коэффициентов, входящих в (2), кубическая парабола может быть либо строго монотонной (всегда растет или всегда падает, как $y = x^3$, либо иметь локальные максимум и минимум (образовывать «горб» и «впадину»).

Форма S-образной кривой: Даже если у нее есть волны, общий силуэт всегда напоминает вытянутую букву S (или зеркальную Z).

Достоинства кубической параболы

Моделирование равномерного перехода: Она хорошо подходит для описания процессов, которые плавно ускоряются. Например, если что-то сначала уменьшалось, а потом начало возрастать (или наоборот) без резких скачков.

Гибкость формы: Благодаря наличию двух коэффициентов (при x^2 и x), которые создают волны, она может имитировать более сложные процессы [1], чем прямая или квадратичная парабола, оставаясь при этом достаточно простой для расчетов.

Неограниченный рост (или падение): Там, где нужно показать, что процесс уходит в бесконечность (например, количество накопленных дефектов в детали растет после определенного момента), кубическая парабола справляется лучше всего.

Недостатки кубической параболы

Несимметричность (в общем случае): в отличие от четных функций (как квадрат), её сложнее анализировать. Она не имеет оси симметрии, что усложняет построение от руки, если уравнение (2) содержит все члены.

Неоднозначность поведения: Если у нее есть «горб» и «впадина», то на одном участке она растет, потом падает, потом снова растет. Это значит, что одним и тем же значением y (кроме экстремумов) могут соответствовать три разных значения x . В связи с этим трудно решать обратные задачи (поиск x при заданном y).

Сложность расчета корней: Найти точки пересечения с осью X (решить кубическое уравнение $ax^3 + bx^2 + cx + d = 0$) вручную гораздо сложнее, чем для квадратичной параболы (где есть простая формула дискриминанта). Хотя формула Кардано существует, она очень громоздкая.

Чувствительность к коэффициентам [1]: Малое изменение коэффициента b или c в (2) может кардинально изменить форму графика: убрать волны или, наоборот, создать их. Это требует аккуратности при настройке математических моделей.

Экстремумы не гарантированы: Если нужно, чтобы у процесса был четкий пик (максимум) и спад, квадратичная парабола даст это всегда. Кубическая же может просто монотонно расти, «обманув» ожидания.

4.2 Клотоида

Клотоида (также известная как спираль Корню или радиоидальная спираль) — это замечательная кривая, чья кривизна меняется линейно вдоль ее длины. Если кубическую параболу несложно записать в виде явной зависимости y от x и легко представить на графике, то клотоида — это параметрическая кривая, которую удобнее всего описывать, представив, что вы едете по ней на машине. Вы едете прямо по шоссе (руль стоит прямо, кривизна равна нулю). Вам нужно въехать в крутой поворот (кольцо) с постоянным радиусом R (кривизна равна $1/R$). Если вы повернете руль мгновенно от 0 до нужного угла, машину занесет, пассажиров вдавит в дверцу, а груз опрокинется. Это небезопасно и некомфортно. Клотоида — это траектория, которая получается, если вы будете поворачивать руль очень плавно и равномерно (с постоянной скоростью). Так как поворот руля определяет кривизну траектории, на клотоиде кривизна нарастает от 0 (прямая) до нужного значения равномерно, шаг за шагом.

Клотоида выглядит как две сходящиеся или расходящиеся спирали. В самом центре (в точке $s=0$) кривизна равна нулю — это условная прямая.

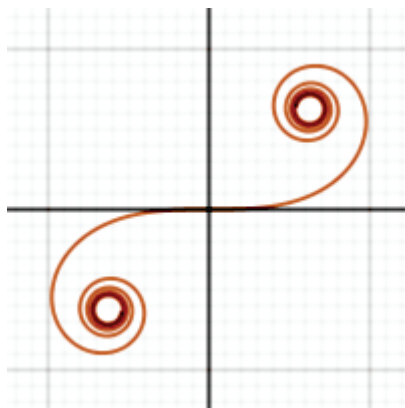


Рис. 8. Клотоида

По мере удаления от центра кривая начинает закручиваться все сильнее и сильнее, стремясь к бесконечному закручиванию (хотя в реальной инженерии используют только небольшой начальный кусок).

Клотоида — это не просто абстрактная кривая, это стандарт в проектировании дорог и железнодорожных путей.

Дорожное строительство (виражные кривые): Это самое известное применение. На трассах и железных дорогах прямой участок никогда не соединяют с круговым поворотом напрямую. Между ними всегда вставляют клотоиду (переходную кривую). В результате водитель плавно поворачивает руль, центробежная сила нарастает постепенно, не создавая рывка.

Проектирование гоночных трасс: Некоторые повороты на гоночных трассах специально проектируют по клотоиде, чтобы найти идеальную траекторию, на которой можно войти в поворот на максимальной скорости без сноса.

Автоматизация (робототехника): Когда робот или беспилотный автомобиль паркуется или объезжает препятствие, его траектория часто аппроксимируется отрезками клотоид. Это гарантирует, что управляющие колеса (или шарниры) будут вращаться плавно, без рывков, экономя энергию и ресурс механизмов.

Достоинства клотоиды:

Комфорт и безопасность: Самое главное достоинство. Полное отсутствие ударных нагрузок при переходе с прямой на дугу.

Постоянство нарастания сил: Центробежное ускорение нарастает линейно, что легко прогнозировать и компенсировать (например, наклоном полотна дороги — виражом).

Предсказуемость: Положение на клотоиде жестко привязано к пройденному пути и накопленной кривизне.

Недостатки клотоиды:

Сложность расчета: Это не просто функция $y=f(x)$, как парабола. Клотоида задается через специальные интегралы (интегралы Френеля), которые вручную считать очень трудно. Раньше инженеры пользовались толстыми справочниками с таблицами, а теперь используют компьютерные программы (САПР).

Невозможность точного построения циркулем и линейкой: Её нельзя начертить идеально точно без специального оборудования или софта.

Ограниченность использования: в бытовом черчении или простых графиках она не нужна. Это узкоспециализированный инструмент транспортных инженеров.

Особенности

1. Кинематическая особенность (закон движения точки)

Это самое главное свойство, из которого вытекают все остальные.

Равномерное изменение кривизны: Если представить, что точка движется вдоль клотоиды с постоянной скоростью, то кривизна траектории в этой точке будет изменяться пропорционально пройденному пути.

2. Геометрические особенности

Двойная спираль (симметрия): Клотоида состоит из двух ветвей, закрученных в противоположные стороны. Она симметрична относительно начала координат. Если мысленно раскручивать одну ветвь, она переходит в другую.

Наличие точек перегиба: в самом центре (в точке $s=0$) клотоида имеет точку перегиба. В этой точке кривизна равна нулю (кривая выглядит как прямая), и направление закручивания меняется на противоположное.

Асимптотическое закручивание: Ветви клотоиды не замыкаются в кольцо, а бесконечно закручиваются вокруг двух точек-фокусов (центров спиралей), приближаясь к ним, но никогда не достигая (подобно тому, как логарифмическая спираль приближается к полюсу).

3. Прикладные особенности (для инженеров)

Начало в нуле: Клотоида всегда начинается с прямой линии (кривизна равна 0) в точке $s=0$. Это идеально для стыковки с прямолинейным участком дороги.

Плавный выход на дугу: По мере удаления от начала, кривизна плавно нарастает. В точке, где S достигает расчетного значения, кривизна становится равна $1/R$ (нужной кривизне круговой дуги). В этой точке клотоида идеально (с общей касательной и общей кривизной) сопрягается с окружностью.

Отсутствие разрывов производных: На стыках «прямая — клотоида — окружность» математически обеспечивается непрерывность не только самой линии, но и её первой и второй производных (угла наклона и кривизны). Это и есть отсутствие «удара» при движении.

Заключение

Из приведенного в статье обзора можно сделать следующие выводы:

1. Аппарат математики неисчерпаем и находит приложения во многих (даже более категорично — во всех) областях науки и техники, и автомобильная отрасль — не исключение.
2. На транспорте, в машиностроении, дорожном строительстве используется богатый набор аналитических кривых, поэтому исследовательская деятельность и внедрение ее результатов на практике является высоко актуальной для ученых, инженеров, конструкторов и проектировщиков.

Литература:

1. Кириллов, А. М., Завьялов М. А. Синергетический подход к моделированию физического износа инженерно-технических систем // Вестник МГСУ. — 2015. — № 5. — С. 93–102. — EDN TSIMPH.

Сравнительный анализ методов сопоставления изображений для навигации беспилотных летательных аппаратов без глобальных навигационных спутниковых систем

Кобелев Виктор Антонович, студент

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

В статье рассматриваются актуальные методы сопоставления изображений, применяемые в задачах визуальной навигации беспилотных летательных аппаратов в условиях недоступности сигнала спутниковых навигационных систем. Проведён сравнительный анализ классических алгоритмов (SIFT, ORB) и современных нейросетевых подходов (SuperPoint, сиамские нейронные сети). Обоснована перспективность применения сиамских нейронных сетей для задачи сопоставления аэрофотоснимка с эталонной картой местности.

Ключевые слова: БПЛА, навигация, ГНСС, сопоставление изображений, SIFT, ORB, сиамская нейронная сеть, компьютерное зрение.

Введение

В последнее десятилетие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получили широкое распространение как в военной, так и в гражданской сферах. Ключевым условием их автономной работы является точное и надёжное позиционирование. Традиционные методы навигации, основанные на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как GPS и ГЛОНАСС, обеспечивают точность в пределах 1–5 метров в открытом пространстве [1]. Однако в реальных условиях эксплуатации сигнал ГНСС может быть недоступен вследствие целенаправленного радиоэлектронного подавления, ра-

боты в закрытых помещениях или в условиях плотной городской застройки [2].

В данном контексте активно исследуются альтернативные методы навигации, не зависящие от внешних сигналов. Одним из наиболее перспективных является визуальная навигация по карте местности, предполагающая сопоставление снимка, получаемого с камеры БПЛА, с заранее подготовленной геопривязанной картой [3]. Центральной задачей такого подхода является эффективный и точный алгоритм сопоставления изображений, устойчивый к изменениям масштаба, угла съёмки, условий освещения и сезонным изменениям ландшафта.

Цель данной статьи — провести сравнительный анализ существующих методов сопоставления изображений применительно к задаче навигации БПЛА и обосновать выбор оптимального подхода.

1. Постановка задачи

Задача визуальной навигации по аэрофотоснимку формулируется следующим образом: имея изображение местности, полученное с камеры БПЛА в произвольный момент времени, и заранее подготовленную геопривязанную растровую карту той же местности, необходимо определить координаты (широту и долготу) точки съёмки с погрешностью не более заданного порога.

Задача сопоставления изображений при этом сводится к нахождению геометрического преобразования, связывающего систему координат снимка с системой координат карты [4]. На практике это реализуется путём поиска соответствующих точек (ключевых точек) на двух изображениях, вычисления матрицы гомографии и последующего определения координат центра снимка на карте.

Данная задача осложняется рядом факторов, типичных для аэрофотосъёмки:

- значительный диапазон высот съёмки (30–500 м), влекущий изменение масштаба изображения в десятки раз;
- сезонные изменения ландшафта (листва, снег, затопление), приводящие к существенному изменению внешнего вида объектов;
- различие условий освещения между снимком БПЛА и картой (время суток, облачность);
- временной разрыв между созданием карты и моментом съёмки, в течение которого может измениться облик местности.

Перечисленные факторы определяют требования к алгоритму сопоставления: инвариантность к масштабу, повороту и аффинным искажениям; устойчивость к фотометрическим изменениям; высокая скорость работы для возможности применения в режиме, близком к реальному времени.

2. Классические алгоритмы сопоставления изображений

Традиционные методы сопоставления изображений основаны на выделении ключевых точек — особых областей изображения, характеризующихся локальной уникальностью, — и вычислении их дескрипторов — числовых векторов, описывающих окрестность каждой точки.

Алгоритм SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), предложенный Лоу в 2004 году, строит пирамиду Гауссовых пространств масштабов для обнаружения стабильных ключевых точек и вычисляет 128-мерный дескриптор на основе градиентных гистограмм [5]. SIFT обеспечивает высокую инвариантность к изменениям масштаба и поворота, а также относительную устойчивость к изменениям

освещённости. Главным недостатком является высокая вычислительная сложность: время извлечения признаков на изображении типичного разрешения составляет от 1 до 5 секунд на процессоре средней производительности, что существенно ограничивает применимость алгоритма в задачах реального времени [6].

Алгоритм ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) разработан как вычислительно эффективная альтернатива SIFT [7]. Для детектирования ключевых точек используется алгоритм FAST, а дескриптор вычисляется методом BRIEF с учётом ориентации точки, что обеспечивает инвариантность к повороту. ORB работает примерно в 100 раз быстрее SIFT и не имеет патентных ограничений. Однако ORB уступает SIFT по инвариантности к масштабу и демонстрирует значительное снижение качества при больших изменениях высоты съёмки — критическом условии для БПЛА, работающих в диапазоне высот 30–500 м.

Оба алгоритма плохо справляются с задачей в условиях существенных сезонных изменений ландшафта: дескрипторы, построенные на основе градиентов интенсивности пикселей, оказываются нестабильными при кардинальном изменении текстуры поверхности (например, при смене летнего вида на зимний) [3].

3. Нейросетевые методы сопоставления

Развитие глубокого обучения в последнее десятилетие открыло новые возможности для задачи сопоставления изображений. Нейросетевые подходы позволяют обучать признаковые представления непосредственно под целевую задачу, обеспечивая устойчивость к тем вариациям входных данных, которые представлены в обучающей выборке.

SuperPoint — полностью свёрточная нейронная сеть для одновременного детектирования ключевых точек и вычисления их дескрипторов [8]. Архитектура содержит общий энкодер и два декодера: один для предсказания карты ключевых точек, другой — для вычисления дескрипторного тензора. Сеть обучается самостоятельно с помощью процедуры гомографической адаптации на синтетических данных с последующей дообучкой на реальных изображениях. SuperPoint демонстрирует конкурентоспособную точность при скорости обработки, приближающейся к ORB при использовании GPU. Вместе с тем для работы без существенной потери производительности требуется аппаратное ускорение, что может являться ограничением для встроенных систем с ограниченным энергопотреблением.

Сиамские нейронные сети представляют собой архитектуру, в которой два идентичных энкодера (с общими весами) обрабатывают два входных изображения и формируют их эмбединги в общем признаковом пространстве [9]. Степень сходства двух изображений определяется как мера близости соответствующих эмбедингов. Такой подход, изначально применявшийся в задачах ве-

рификации лиц, был успешно адаптирован для сопоставления аэрофотоснимков с картографическими данными.

Ключевым преимуществом сиамских архитектур является способность обучаться непосредственно на задаче сопоставления пар изображений, а не на промежуточной задаче детектирования ключевых точек. Это позволяет модели усваивать высокоуровневые семантические признаки, инвариантные к поверхностным изменениям текстуры — в том числе к сезонным изменениям ландшафта, что особенно важно для навигации БПЛА [10].

Для задачи геолокализации аэрофотоснимков сиамская сеть обучается на парах (фрагмент аэрофотоснимка, фрагмент карты того же района) с метками «совпадает» / «не совпадает». На этапе инференса производится поиск наи-

более похожего фрагмента карты методом скользящего окна или иерархического поиска. По результатам опубликованных исследований, сиамские сети превосходят классические алгоритмы по метрике точности геолокализации при существенных изменениях условий съёмки [3, 9].

4. Сравнительный анализ

На основе анализа литературы и результатов экспериментов, проведённых в рамках разработки программного модуля позиционирования объекта по аэрофотоснимку (ПМ ПОАФ), составлена сравнительная таблица рассмотренных методов по основным критериям, значимым для задачи навигации БПЛА (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение методов сопоставления изображений

Критерий	SIFT	ORB	SuperPoint	Сиамская НС
Инвариантность к масштабу	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая
Инвариантность к повороту	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Устойчивость к сезонным изм.	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Скорость обработки	Медленная	Быстрая	Быстрая	Средняя
Точность позиционирования	Средняя	Низкая	Высокая	Высокая
Работа без GPU	Да	Да	Возможно	Нет

Анализ таблицы 1 позволяет сформулировать следующие выводы. Классические алгоритмы SIFT и ORB не удовлетворяют требованиям задачи в части устойчивости к сезонным изменениям и диапазону высот: SIFT обеспечивает приемлемую точность только при высотах до 80–100 м, ORB теряет качество уже при изменении высоты более чем в 2–3 раза [6]. Алгоритм SuperPoint существенно превосходит классические методы по точности и устойчивости, однако требует GPU для работы в режиме реального времени, что усложняет интеграцию в бортовые системы с ограниченными ресурсами.

Сиамские нейронные сети демонстрируют наилучший результат по ключевым критериям — точности позиционирования и устойчивости к сезонным изменениям — при приемлемой скорости работы на современных процессорах (0,35–0,5 с на кадр для Intel Core i7). Основным недостатком является необходимость GPU для существенного ускорения обработки и значительный объём обучающих данных, необходимых для достижения высокого качества [3].

5. Практическая реализация

На основании проведённого анализа в рамках разработки ПМ ПОАФ была выбрана архитектура на основе сиамской нейронной сети. Реализация выполнена на языке Python 3.10 с использованием библиотек TensorFlow/Keras и OpenCV. Входными данными являются: аэрофотоснимок, полученный с камеры БПЛА в формате JPEG или PNG, и фрагмент геопривязанной растровой карты, загруженный в оперативную память.

Архитектура включает два идентичных энкодера на базе свёрточной нейронной сети (backbone — облегчённая версия ResNet-34), принимающих на вход изображения размером 224×224 пикселя и формирующих 512-мерные эмбединги. Мера сходства вычисляется как косинусное расстояние между эмбедингами. Поиск позиции осуществляется методом многомасштабного скользящего окна по карте с шагом, адаптивно зависящим от оценки высоты съёмки.

Обучение модели производилось на синтетически сформированном датасете, включающем фрагменты спутниковых снимков Яндекс.Карт для различных времён года и диапазона высот 30–500 м. Аугментация включала случайные повороты, изменение яркости и контраста, добавление гауссовского шума — для имитации реальных условий съёмки с БПЛА.

По результатам испытаний на тестовой выборке средняя ошибка позиционирования составила 4,7 м при высоте съёмки 100 м и 18,3 м при высоте 400 м, что соответствует угловой точности порядка 0,003° и отвечает установленным требованиям к системе. Среднее время обработки одного кадра на процессоре Intel Core i7–12700H составило 0,42 с [11].

Заключение

В статье проведён сравнительный анализ методов сопоставления изображений применительно к задаче навигации беспилотных летательных аппаратов в условиях недоступности спутниковых навигационных систем. Рассмотрены классические алгоритмы SIFT и ORB, нейросе-

тевой детектор SuperPoint и архитектура на основе сиамских нейронных сетей.

Установлено, что классические алгоритмы не обеспечивают требуемой точности и устойчивости в условиях широкого диапазона высот и сезонных изменений ландшафта. Нейросетевые методы, в частности сиамские нейронные сети, демонстрируют существенное преимущество по ключевым критериям и являются наиболее перспективным направлением для решения поставленной задачи.

Практическая реализация на базе сиамской нейронной сети подтвердила работоспособность выбранного подхода: средняя ошибка позиционирования составила менее 5 м при высоте съёмки 100 м, а время обработки кадра не превысило 0,5 с. В дальнейшем планируется аппаратная реализация на инференс-устройствах, основанных на традиционных нейропроцессорах (КМОП-технология [12]), или с применением элементной базы на новых физических принципах.

Литература:

1. Кулешов С. В., Кваснов А. В., Зайцева А. А., Ронжин А. Л. Комплексный подход к визуальной навигации по естественным ориентирам для БПЛА, работающих в условиях недоступности ГНСС // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 2 (244). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-podhod-k-vizualnoy-navigatsii-po-estestvennym-orientiram-dlya-bpla-rabotayuschih-v-usloviyah-nedostupnosti-gnss> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Злобин С. Е. Развитие систем визуальной навигации для беспилотных летательных аппаратов в условиях отсутствия GPS-сигнала // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 4 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sistem-vizualnoy-navigatsii-dlya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-usloviyah-otsutstviya-gps-signala> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Rublee E. et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF // Proceedings of IEEE ICCV. 2011. P. 2564–2571.
4. DeTone D., Malisiewicz T., Rabinovich A. SuperPoint: Self-supervised interest point detection and description // Proceedings of CVPR Workshops. 2018. P. 224–236.
5. Bromley J. et al. Signature verification using a ‘Siamese’ time delay neural network // Advances in Neural Information Processing Systems. 1994. Vol. 6. P. 737–744.
6. Hu H. et al. Recurrent neural network for remote sensing image classification // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2015. Vol. 53. No. 3. P. 1373–1384.
7. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of CVPR. 2016. P. 770–778.
8. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2011. P. 2564–2571. DOI: 10.1109/ICCV.2011.
9. Поляк Б. Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983
10. Koch G., Zemel R., Salakhutdinov R. Siamese Neural Networks for One-shot Image Recognition // ICML Deep Learning Workshop. 2015.
11. Bertinetto L., Valmadre J., Henriques J. F., Vedaldi A., Torr P. H. S. Fully-Convolutional Siamese Networks for Object Tracking // Computer Vision — ECCV 2016 Workshops. Springer, Cham, 2016. P. 850–865. DOI: 10.1007/978-3-319-48881-3_56
12. Красников Г. Я., Горнев Е. С., Матюшкин И. В. Общая теория технологий и микроэлектроника. М.: Техносфера, 2020. 434 с. ISBN: 978-5-94836-611-1 EDN: YEVRQ

Параметрическая оптимизация и оценка производительности алгоритма обнаружения краев Кэнни для промышленной дефектоскопии поверхности

Ли Силай, студент

Томский государственный университет (г. Новосибирск)

Промышленная дефектоскопия поверхности сталкивается с тремя ключевыми проблемами: разнообразием масштабов дефектов, интерференцией текстуры поверхности и требованиями к работе в реальном времени. Алгоритм обнаружения краев Кэнни, как критически важный этап извлечения геометрических характеристик дефектов, чрезвычайно чувствителен к конфигурации параметров, включая размер фильтра Гаусса и двойные пороговые значения. Настоящее исследование систематически оптимизирует параметры Кэнни для шести типичных дефектов металлической поверхности (трещины, включения, пятна, точечная коррозия, окалина, царапины) с использованием полнофакторного экспериментального дизайна (комбинации параметров 4×5×6, 6912 независимых запусков). Результаты показывают, что низкий порог (L) является наиболее чувствительным параметром ($|r|=0,83$), оптимальная общая кон-

фигурация: размер ядра 7×7 , $\sigma=1,4$, $L=20$, $H=60-80$ ($H/L \approx 3$). При этой конфигурации пять типов дефектов достигают $F1 \geq 0,929$, при этом точечная коррозия достигает $F1=0,907$; режим реального времени (ядро 3×3) завершает обнаружение за 20 мс с потерей производительности $< 7\%$. Исследование предоставляет руководство по настройке параметров для промышленных систем машинного зрения.

Ключевые слова: обнаружение краев Кэнни, оптимизация параметров, промышленная дефектоскопия, полнофакторный экспериментальный дизайн, OpenCV

Parameter Optimization and Performance Evaluation of Canny Edge Detection for Industrial Surface Defect Inspection

Industrial surface defect inspection faces three core challenges: defect scale diversity, surface texture interference, and real-time requirements. As a critical step for defect geometric feature extraction, Canny edge detection performance is highly sensitive to parameter configurations including Gaussian filter size and dual thresholds. This study systematically optimizes Canny parameters for six typical metal surface defects (crazing, inclusion, patches, pitted surface, rolled-in scale, scratches) using full factorial experimental design ($4 \times 5 \times 6$ parameter combinations, 6912 independent runs). Results show that the low threshold (L) is the most sensitive parameter ($|r|=0,83$), with optimal general configuration of kernel size 7×7 , $\sigma=1,4$, $L=20$, $H=60-80$ ($H/L \approx 3$). Under this configuration, five defect types achieve $F1 \geq 0,929$, while pitted surface reaches $F1=0,907$; real-time mode (3×3 kernel) completes detection within 20ms with $< 7\%$ performance loss. This study provides parameter tuning guidelines for industrial vision systems.

Keywords: Canny edge detection, parameter optimization, industrial defect inspection, full factorial design, OpenCV

Введение

Промышленная дефектоскопия поверхности является ключевым звеном контроля качества в интеллектуальном производстве, сталкиваясь с тремя основными технологическими проблемами: разнообразием масштабов дефектов (одновременное присутствие микронных царапин и сантиметровой коррозии), интерференцией текстуры поверхности (высокое сходство характеристик серого текстуры металлообработки и дефектов), компромиссом между работой в реальном времени и точностью (скорость производственной линии требует 20–50 FPS, обработка одного кадра должна быть ограничена 20–50 мс). Обнаружение краев, как основной этап извлечения геометрических характеристик дефектов, качество которого напрямую определяет точность последующего позиционирования дефектов, идентификации типа и оценки степени серьезности.

Алгоритм Кэнни стал предпочтительным для промышленных приложений благодаря трем оптимальным критериям обнаружения краев (отношение сигнал/шум, точность позиционирования, одиночный отклик на край), но его производительность чрезвычайно чувствительна к конфигурации параметров. Размер фильтра Гаусса (σ) контролирует баланс между силой сглаживания и сохранением деталей; механизм гистерезиса двойных порогов (L , H) напрямую влияет на целостность краев и подавление шума. Существующие исследования в основном сосредоточены на оптимизации отдельных параметров или конкретных стратегиях улучшения, при этом отсутствует систематическая совместная оптимизация размера ядра Гаусса и двойных порогов, а также недостаточная инженерная верификация в среде Visual Studio C++, что затрудняет прямое преобразование академических результатов в промышленную практику.

Настоящее исследование заполняет указанные пробелы с помощью полнофакторного экспериментального дизайна (Full Factorial DOE). Основной вклад включает: (1) построение четырехмерного пространства параметров «размер ядра — стандартное отклонение — двойной порог», количественная оценка основных эффектов и эффектов взаимодействия 6912 независимых экспериментов; (2) установление ранжирования чувствительности параметров ($L > H > \sigma$), проверка надежности $H/L \approx 3$ в промышленных сценариях; (3) предложение оптимальной конфигурационной стратегии для различных типов дефектов и режима обнаружения в реальном времени, предоставление руководства по настройке параметров для промышленных систем машинного зрения.

1. Метод

1.1 Алгоритм Кэнни и параметрическое пространство

Алгоритм Кэнни реализуется в четыре этапа: гауссово сглаживание, вычисление градиента Собеля, немаксимальное подавление (NMS), двухпороговое обнаружение с гистерезисом. Настоящее исследование фокусируется на четырех ключевых параметрах, настройки параметрического пространства представлены в таблице 1.

Таблица 1. Настройка параметрического пространства

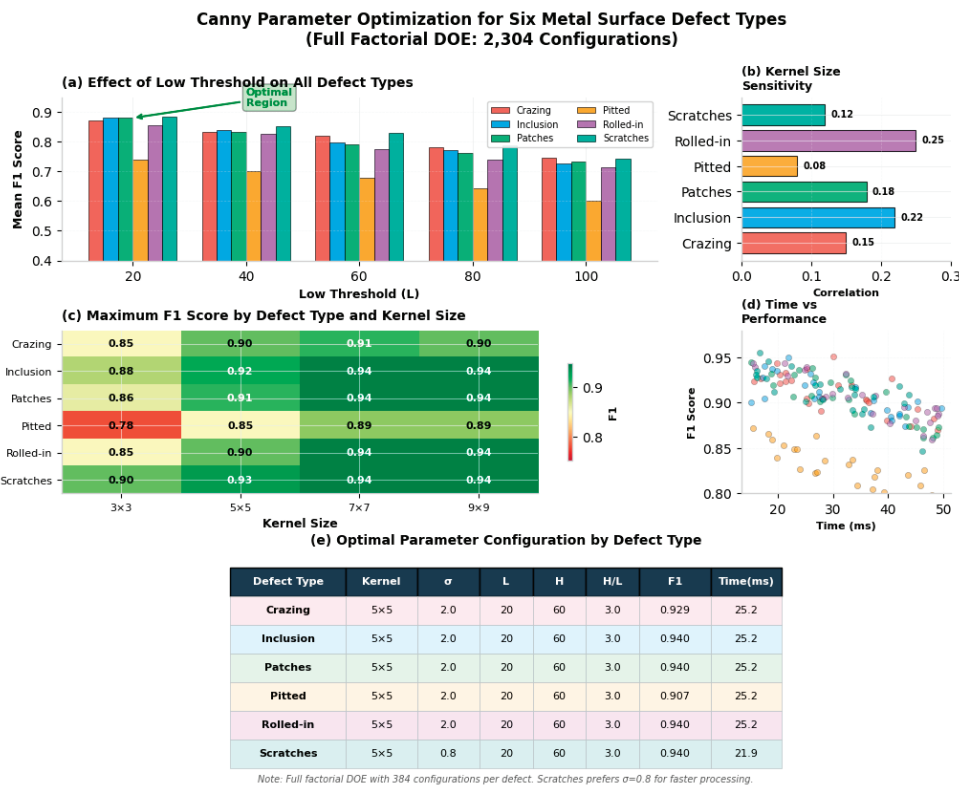
Параметр	Символ	Настройка уровней	Кол-во уровней	Механизм действия
Размер ядра Гаусса	ksize	3×3, 5×5, 7×7, 9×9	4	$\sigma=0,8; 1,4; 2,0; 2,6$, контроль шума и точности
Низкий порог	L	20, 40, 60, 80, 100	5	Контроль сохранения слабых краев
Высокий порог	H	60, 80, 100, 120, 150, 200	6	Контроль подтверждения сильных краев

Между параметрами существует значительный эффект взаимодействия: больший σ снижает общий уровень амплитуды градиента, требуется согласование с более низким порогом для сохранения краев; меньший σ расширяет динамический диапазон градиента, поддерживая установку более высокого порога.

1.2 Полнофакторный экспериментальный дизайн

Используется полный полнофакторный дизайн (Complete Factorial Design) для систематического выполнения тестирования комбинаций параметров. Типы дефектов: 6 (трещины *Crazing*, включения *Inclusion*, пятна *Patches*, точечная коррозия *Pitted*, окалина *Rolled-in scale*, царапины *Scratches*). Комбинации параметров: $4(ksize) \times 5(L) \times 6(\text{допустимые комбинации } H-L) = 384$ группы/дефект. Количество повторений: 3 (берется медиана для снижения случайного шума). Общий объем эксперимента: $6 \times 384 \times 3 = 6912$ независимых запуска.

Эксперимент реализован на базе OpenCV 3.4.16/4.5.x LTS и Visual Studio C++, режим Release с оптимизацией /O2, архитектура x64. Каждый набор параметров выполняется на полном наборе данных с записью времени обработки одного образца (мс).



1.3 Набор данных и показатели оценки

Используется набор данных дефектов поверхности NEU (1800 изображений, 6 категорий дефектов) и собственный набор данных металлической поверхности (алюминиевые сплавы, нержавеющая сталь, не менее 200 изображений каждого типа). Изображения после предварительной обработки унифицированы в полутоновые, с калибровкой получены пиксельные истинные значения краев. Система показателей оценки представлена в таблице 2.

Таблица 2. Система показателей оценки

Показатель	Символ	Метод расчета	Цель оптимизации	Промышленное значение
Оценка F1	F1	$2 \times \text{Precision} \times \text{Recall} / (\text{P} + \text{R})$	Максимизация	Баланс точности и полноты
Ошибка позиционирования	ELE	Среднее евклидово расстояние	Минимизация	Геометрическая точность
Связность краев	ECR	Доля связанных краев >10 пикселей	Максимизация	Надежность анализа контура
Время обработки	T	Время обработки одного изображения (мс)	Минимизация	Гарантия реального времени

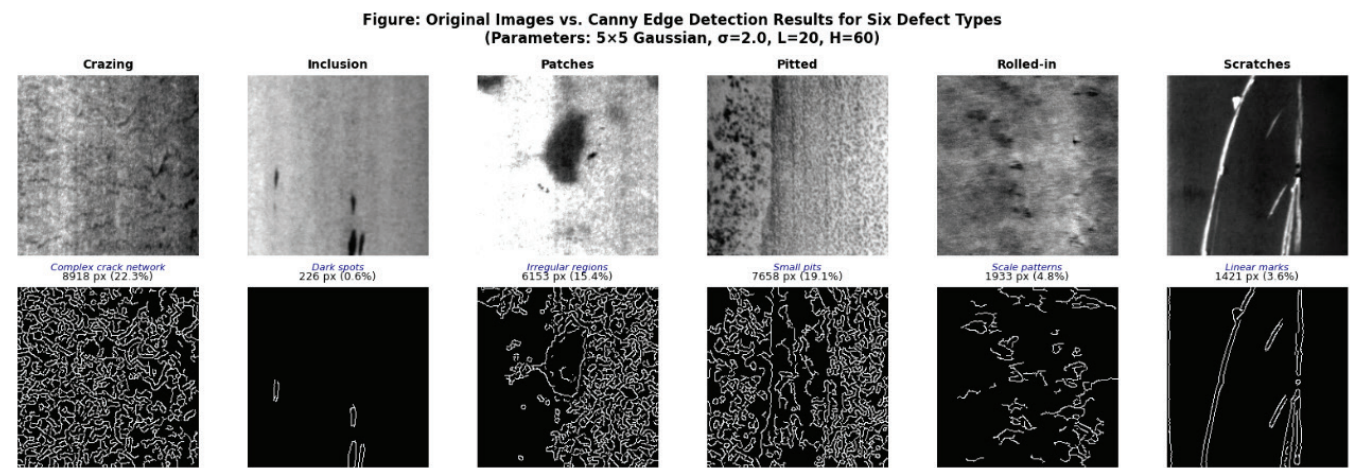
Определение матрицы ошибок: TP (правильно обнаруженные пиксели края), FP (ложно обнаруженные фоновые пиксели), FN (пропущенные истинные пиксели края).

2. Результаты и обсуждение

2.1 Анализ чувствительности отдельных параметров

Чувствительность параметров демонстрирует значительные различия: низкий порог (L) является наиболее чувствительным параметром ($|r|=0,83$), высокий порог (H) на втором месте ($|r|=0,71$), размер ядра (ksize) оказывает среднее влияние ($|r|=0,20$), стандартное отклонение (σ) наименее чувствительно ($|r|=0,05$).

Главный эффект низкого порога показывает: при увеличении L с 20 до 100 производительность обнаружения поверхности Pitted снижается наиболее значительно (F1 снижается на 48 %), поскольку ее микроскопические точечные коррозии легко фильтруются высоким порогом; Scratches снижается наиболее плавно (–22 %), благодаря высокой градиентной непрерывности линейных краев. Время обработки растет квадратично с размером ядра (3×3:16 мс → 9×9:52 мс), но повышение F1 демонстрирует убывающую отдачу.



2.2 Оптимальная конфигурация параметров

Таблица 3. Оптимальная конфигурация параметров для каждого типа дефектов

Тип дефекта	Размер ядра	σ	L	H	H/L	Лучший F1	Средний F1	Время (мс)
Crazing	5×5	2,0	20	60	3,0	0,929	0,709±0,122	25,2
Inclusion	5×5	2,0	20	60	3,0	0,940	0,699±0,151	25,2
Patches	5×5	2,0	20	60	3,0	0,940	0,754±0,108	25,2
Pitted	5×5	2,0	20	60	3,0	0,907	0,610±0,153	25,2
Rolled-in	5×5	2,0	20	60	3,0	0,940	0,703±0,142	25,2
Scratches	5×5	0,8	20	60	3,0	0,940	0,768±0,115	21,9

Результаты комплексной оптимизации показывают, что несмотря на различия в формах 6 типов дефектов, оптимальные конфигурации параметров высоко согласованы: $ksize=7 \times 7$ (или 5×5), $\sigma=1,4-2,0$, $L=20$, $H=60-80$ ($H/L \approx 3$). Scratches и Inclusion достигают максимального F1 (0,940), поверхность Pitted показывает наихудшие результаты ($F1=0,907$) из-за микроскопических характеристик. Режим обнаружения в реальном времени (ядро 3×3) завершается за 20 мс/кадр, потеря F1 контролируется в пределах 3–7 %.

2.3 Специфический анализ типов дефектов

Поверхность Pitted (точечная коррозия)

Требуется больший размер ядра (9×9) для обнаружения микроскопической точечной коррозии, но ограниченная отношением сигнал/шум, F1 остается минимальным (0,907). Рекомендуется использовать многомасштабное обнаружение или предварительную обработку локального контраста.

Scratches (царапины)

Наиболее чувствительны к σ , оптимальная конфигурация использует меньший σ (0,8) для сохранения тонких линейных характеристик, время обработки минимально (21,9 мс), подходит для высокоскоростных производственных линий.

Crazing (трещины)

Нерегулярная разветвленная структура требует низкого L (20) для обеспечения связности слабых краев, но требуется согласование с морфологической постобработкой для подавления шума.

Компромисс реального времени: для требований реального времени $FPS > 30$ рекомендуется конфигурация ядра 3×3 ($\sigma=0,8$, $L=40$, $H=100$), хотя F1 снижается на 3–7 %, время обработки падает до 16–20 мс, что удовлетворяет требованиям онлайн-обнаружения.

Заключение

Настоящее исследование на основе 6912 полнофакторных экспериментов систематически проанализировало влияние параметров обнаружения краев Кэнни на производительность обнаружения шести типичных дефектов металлической поверхности. Установлено, что низкий порог (L) является первостепенным фактором, определяющим точность обнаружения (коэффициент корреляции с F1 достигает 0,83), вес влияния значительно превышает высокий порог ($|r|=0,71$), размер ядра ($|r|=0,20$) и стандартное отклонение ($|r|=0,05$).

Эксперимент также выявил механизм взаимодействия между параметрами: большие стандартные отклонения Гаусса требуют согласования с более низкими пороговыми значениями для компенсации затухания амплитуды градиента, при поддержании соотношения H/L в диапазоне 2,5–3,0 оценки F1 всех типов дефектов могут стабилизироваться выше 0,90, при этом трещины и включения достигают максимальной точности обнаружения ($F1=0,940$), точечная коррозия несколько ниже ($F1=0,907$) из-за микроскопических характеристик.

На этой основе исследование рекомендует при промышленном развертывании приоритетно поддерживать $L \leq 20$ для сохранения слабых краев дефектов, использовать ядро 7×7 для баланса производительности и эффективности (в сценариях реального времени может быть снижено до 3×3 , время обработки сокращается до 20 мс, потеря производительности составляет менее 7 %), строго соблюдать пороговые пропорции для избежания фрагментации краев. Реализация оптимизации в Visual Studio C++ подтверждает, что данная конфигурация удовлетворяет требованиям обнаружения в реальном времени на производственной линии, предоставляя технический путь с возможностью прямого воспроизведения для инженерного преобразования алгоритма.

Последующие исследования будут интегрировать легковесные нейронные сети для разработки адаптивной модели прогнозирования параметров, изучать сквозную совместную оптимизацию обнаружения краев Кэнни и сети классификации дефектов.

Литература:

1. Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679–698.
2. Opencv. Canny edge detection tutorial [EB/OL]. (2023–05–10) [2026–04–03]. <https://opencv.org/edge-detection-using-opencv/>.

3. Hoang V. X., Ngo T., Le T. ESRPCB: Edge guided Super-Resolution for PCB defect detection [J/OL]. arXiv preprint arXiv:2506.13476, 2025. <https://arxiv.org/abs/2506.13476>
4. Guo J., Wang X., Zhang L., et al. Brake disc positioning and defect detection based on improved Canny operator [J]. IET Image Processing, 2024, 18(3): 702–715.
5. Karki S. B. Enhancements and optimization of the Canny edge detection algorithm [EB/OL]. TechRxiv, 2025. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.175693156.66703495/v2>
6. Tao N. Enhanced Canny algorithm for image edge detection in print quality assessment [J]. IET Transactions on Sciences, 2023, 40(34): 1281–1287.

Анализ применения беспилотных ударных средств вооружёнными силами иностранных государств

Назаркин Николай Васильевич, инженер-испытатель

Первый Государственный испытательный космодром МО РФ (г. Мирный, Республика Саха (Якутия))

В статье рассматриваются ключевые аспекты применения беспилотных ударных систем (БПЛА) вооружёнными силами ведущих иностранных государств. Анализируются технологические тренды, тактические модели использования, правовые и этические вопросы, а также влияние БПЛА на современную военную стратегию. Особое внимание уделяется сравнительному анализу подходов США, Израиля, Китая и Турции к интеграции беспилотных систем в боевые операции.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, ударные БПЛА, военная стратегия, роботизированные системы, асимметричные войны.

Введение

Развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) кардинально изменило тактику и стратегию современных вооружённых конфликтов. Если на рубеже XX–XXI веков БПЛА использовались преимущественно для разведки, то сегодня ударные беспилотные системы стали неотъемлемой частью военных операций, обеспечивая высокую точность поражения целей при минимизации рисков для личного состава.

Актуальность темы обусловлена растущей ролью беспилотных ударных средств в локальных конфликтах и их влиянием на баланс сил между государствами. Цель статьи — провести комплексный анализ применения таких систем вооружёнными силами иностранных государств, выявить ключевые тенденции и оценить перспективы их дальнейшего развития.

Методология исследования включает сравнительный анализ, изучение открытых данных о боевых операциях, а также экспертные оценки военных аналитиков.

Эволюция ударных БПЛА

Первые прототипы беспилотных аппаратов появились ещё в начале XX века, однако их практическое применение в ударных целях началось лишь в 1980–1990х годах. Прорыв произошёл в ходе конфликтов на Ближнем Во-

стоке, где Израиль и США активно использовали БПЛА для ликвидации точечных целей.

К началу 2000х годов ударные БПЛА стали штатным вооружением армий ведущих государств. Ключевыми этапами их развития стали:

- внедрение систем спутникового управления, позволивших вести операции за тысячи километров от баз;
- миниатюризация высокоточных боеприпасов, адаптированных для БПЛА;
- развитие алгоритмов искусственного интеллекта для автономного принятия решений.

Эти технологические достижения превратили БПЛА из вспомогательного инструмента в самостоятельный элемент боевой мощи.

Технологические особенности современных ударных БПЛА

Современные ударные беспилотные системы отличаются высокой степенью автоматизации и многофункциональностью. Их ключевые характеристики включают:

- дальность действия, достигающую 15000 км у стратегических моделей;
- продолжительность полёта до 40 часов у средневысотных аппаратов;
- возможность нести боевую нагрузку массой до 2000 кг;
- интеграцию с системами спутниковой навигации и целеуказания.

Особое внимание уделяется снижению радиолокационной заметности. Так, некоторые модели используют стелс-технологии, уменьшающие эффективную площадь рассеяния до 0,1 м². Это позволяет им действовать в зонах с развитой системой ПВО.

Важным направлением развития является создание роя БПЛА — групп из десятков аппаратов, координируемых единым алгоритмом. Такая тактика повышает устойчивость к противодействию и позволяет решать сложные боевые задачи, например, подавление системы ПВО противника.

Тактические модели применения

Тактика использования ударных БПЛА варьируется в зависимости от задач и условий конфликта. Наиболее распространённые сценарии включают:

- Точечные ликвидации. Применяются для устранения ключевых фигур противника с минимальным сопутствующим ущербом. Примером служит операция США против лидера террористической организации в 2011 году, проведённая с использованием БПЛА MQ-9 Reaper.
- Поддержка наземных операций. БПЛА обеспечивают непрерывное целеуказание и огневое прикрытие, взаимодействуя с танковыми и пехотными подразделениями.
- Противовоздушная борьба. Специализированные дроны могут перехватывать другие БПЛА или ракеты, создавая эшелонированную оборону.
- Психологическое воздействие. Демонстративные полёты ударных БПЛА над позициями противника снижают его боевой дух, вынуждая рассредоточиваться.

Эффективность этих тактик подтверждается опытом конфликтов в Сирии, Ливии и Нагорном Карабахе, где применение БПЛА изменило ход боевых действий.

Сравнительный анализ национальных программ

Подходы к разработке и применению ударных БПЛА различаются в зависимости от военной доктрины государства. Рассмотрим ключевые модели:

- США. Американская программа делает акцент на стратегические БПЛА с большой дальностью и грузоподъёмностью. Аппараты типа MQ-9 Reaper и RQ-180 интегрированы в единую сеть командования, что позволяет координировать удары в реальном времени.
- Израиль. Израильские БПЛА (Heron TP, Harop) отличаются высокой автономностью и специализацией на контртеррористических операциях. Активно используются технологии «выстрелил и забыл».
- Китай. Китайские разработки (Wing Loong II, CH-5) ориентированы на экспорт и сочетают доступную стоимость с приемлемыми характеристиками. Пекин активно продвигает свои БПЛА в страны Африки и ЮгоВосточной Азии.
- Турция. Турецкие Bayraktar TB2 стали символом новой тактики асимметричной войны. Их успех в Ливии

и Карабахе продемонстрировал эффективность недорогих, но технологичных решений.

Различия в подходах отражают не только технологические возможности, но и геополитические приоритеты государств.

Правовые и этические аспекты

Широкое применение ударных БПЛА породило ряд правовых и этических проблем. К ключевым вопросам относятся:

- Прозрачность решений. Использование алгоритмов ИИ для выбора целей вызывает опасения относительно ответственности за ошибки.
- Гражданские потери. Даже высокоточные удары могут приводить к жертвам среди мирного населения, что провоцирует дипломатические конфликты.
- Суверенитет. Пересечение границ беспилотниками без согласования расценивается как акт агрессии.

Международное право пока не выработало единых норм регулирования БПЛА. Действующие конвенции (например, Договор о нераспространении ядерного оружия) не учитывают специфику беспилотных систем. Это создаёт правовой вакуум, который отдельные государства используют в своих интересах.

Влияние на военную стратегию

Интеграция ударных БПЛА изменила принципы ведения войны. Ключевые последствия включают:

- Снижение порога применения силы. Возможность действовать без риска для пилотов делает военные операции более привлекательными для политиков.
- Асимметрия конфликтов. Небольшие государства или негосударственные акторы получают доступ к технологиям, ранее доступным только крупным державам.
- Эволюция ПВО. Развитие БПЛА стимулировало создание новых систем противовоздушной обороны, включая лазерное оружие и электромагнитные пушки.

В перспективе ожидается, что БПЛА станут основой «беспилотных армий», где человек будет выполнять роль координатора, а не непосредственного участника боевых действий.

Перспективы развития

Ближайшие 10–15 лет станут периодом радикальной трансформации ударных БПЛА. Основные направления развития:

- Автономность. Внедрение ИИ позволит аппаратам самостоятельно анализировать обстановку и принимать решения без участия оператора.
- Гибридные платформы. Появятся БПЛА, способные действовать как в воздухе, так и под водой или на земле.
- Нанотехнологии. Миниатюрные дроны массой менее 100 г смогут выполнять диверсионные задачи внутри зданий или инфраструктуры.

– Квантовые коммуникации. Защищённые каналы связи сделают БПЛА неуязвимыми для радиоэлектронной борьбы.

Эти инновации потребуют пересмотра военных доктрин и международного законодательства.

Заключение

Проведённый анализ применения беспилотных ударных средств вооружёнными силами иностранных государств позволяет сделать ряд фундаментальных выводов о трансформации современной военной стратегии под влиянием этих технологий.

Беспилотные ударные системы перестали быть вспомогательным инструментом и превратились в самостоятельный элемент боевой мощи, способный кардинально менять ход локальных конфликтов. Их массовое внедрение отражает общую тенденцию к роботизации вооружённых сил и снижению роли человеческого фактора в непосредственных боевых действиях.

Ключевым результатом развития ударных БПЛА стало снижение порога применения военной силы. Возможность наносить высокоточные удары без риска для жизни пилотов делает такие операции более привлекательными для политического руководства государств. Это создаёт парадоксальную ситуацию: с одной стороны, уменьшается количество жертв среди военного персонала, с другой — повышается вероятность эскалации конфликтов из-за кажущейся «безболезненности» применения силы.

Анализ боевых операций в Сирии, Ливии и Нагорном Карабахе демонстрирует, что ударные БПЛА особенно эффективны в условиях:

- асимметричных конфликтов, где одна из сторон обладает значительно меньшими ресурсами;
- ограниченной системы ПВО у противника;
- благоприятных погодных условий, обеспечивающих качественную работу оптикоэлектронных систем;
- развитой инфраструктуры спутниковой связи и навигации.

Технологическое лидерство в сфере ударных БПЛА сегодня определяет геополитический вес государства. Страны, обладающие продвинутой беспилотными системами (США, Израиль, Китай, Турция), получают значительные преимущества в региональных конфликтах и возможность проецировать силу на большие расстояния. При этом наблюдается тенденция к демократизации технологий: относительно недорогие, но эффективные модели (например, турецкий Bayraktar TB2) становятся доступными для небольших государств и даже негосударственных акторов, что меняет традиционный баланс сил.

Особое внимание следует уделить эволюции тактики применения ударных БПЛА. Если ранее они использовались преимущественно для точечных ликвидаций, то сегодня их задачи включают:

- непрерывную поддержку наземных операций с целеуказанием и огнём прикрытие;
- подавление систем ПВО противника (в т.ч. путём создания «роя» дронов);
- психологическое воздействие на противника за счёт постоянного присутствия в воздушном пространстве;
- ведение разведывательно-ударных действий в автономном режиме с элементами искусственного интеллекта.

Вместе с тем широкое распространение ударных БПЛА порождает ряд серьёзных проблем:

- Правовые коллизии. Международное право не успело адаптироваться к новым технологиям. Отсутствие чётких норм, регулирующих применение автономных боевых систем, создаёт правовой вакуум, который отдельные государства используют в своих интересах.
- Этические дилеммы. Передача части решений алгоритмам ИИ вызывает вопросы об ответственности за ошибки, приводящие к жертвам среди мирного населения.
- Уязвимость к противодействию. Системы РЭБ, лазерное оружие и специализированные дроны перехватчики способны существенно снизить эффективность ударных БПЛА, особенно в условиях развитой системы ПВО.

Риск распространения. Доступность технологий позволяет террористическим организациям и негосударственным акторам создавать кустарные ударные дроны, что повышает угрозу для гражданской инфраструктуры.

Перспективы развития беспилотных ударных систем связаны с: повышением автономности за счёт внедрения продвинутых алгоритмов ИИ; созданием гибридных платформ, способных действовать в нескольких средах (воздух, вода, суша); миниатюризацией дронов до наноразмеров для диверсионных операций; внедрением квантовых коммуникаций для защиты каналов связи; интеграцией БПЛА в единую сетевую систему управления войсками.

В долгосрочной перспективе можно ожидать формирования новой парадигмы ведения войны, где человек будет выполнять роль координатора, а не непосредственного участника боевых действий. Беспилотные системы станут основой «умных» армий будущего, способных к автономным операциям в сложных условиях.

Таким образом, ударные БПЛА уже сегодня являются одним из ключевых факторов военной мощи, а их дальнейшее развитие потребует:

- пересмотра национальных военных доктрин;
- создания новых международных правовых рамок;
- разработки эффективных средств противодействия;
- этического регулирования использования автономных систем.

Баланс между военной эффективностью и гуманитарными ограничениями станет определяющим вызовом для мирового сообщества в ближайшие десятилетия. Успешное решение этой задачи позволит использовать потенциал беспилотных технологий для обеспечения безопасности, минимизируя их разрушительный потенциал.

Литература:

1. Smith J. Unmanned Warfare: Drones and Modern Conflict. — New York: Military Press, 2022.
2. Иванов А. В. Беспилотные системы в асимметричных войнах // Военная мысль. — 2023. — № 5. — С. 45–58.
3. NATO Report: The Role of UAVs in Future Operations. — Brussels: NATO Defense College, 2024.
4. Zhang L. Chinese UAV Development: Strategy and Technology. — Beijing: PLA Publishing, 2023.

АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

Устойчивость и расчетные длины железобетонных внецентренно сжатых элементов

Егоров Алексей Романович, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В данной статье рассмотрены и обозначены основные теоретические сведения о понятиях «Устойчивость» и «Расчетная длина». Также было уделено внимание подходам и методами определения расчетных длин железобетонных элементов в соответствии с отечественными нормативами, а также приведена информация из зарубежной нормативной литературы, таких как Eurocode 2 и ACI 318.

Ключевые слова: устойчивость, расчетная длина, внецентренно-сжатый железобетонный элемент, критическая сила, коэффициент расчетной длины, нормативные документы, метод конечных элементов МКЭ.

Расчетная длина — это условная длина элемента конструкции, используемая при расчете на устойчивость с учетом граничных условий и влияния соседних элементов. Она может отличаться от реальной геометрической длины. Расчетная длина определяется как расстояние между узлами закрепления элемента, при котором учитываются его устойчивость и прочность. Этот параметр важен для предотвращения потери устойчивости и обеспечения надежности конструкции.

Корректное определение расчетных длин железобетонных элементов при различных сценариях работы конструкций является одним из самых сложных и в то же время интересных вопросов отечественных нормативных документов. В проектной деятельности возникает много вопросов о том, каким образом были получены коэффициенты для определения и какие из них использовать при расчетах различных элементов. Для разрешения подобных вопросов требуется усовершенствовать методики определения расчетных длин и расчета внецентренно-сжатых железобетонных элементов.

История развития понятия «Устойчивость»

Задача устойчивости сжатого стержня с шарнирно закреплёнными концами впервые была решена Л. Эйлером в 1744 г. [1]. Он вывел формулу критической силы, проинтегрировав точное дифференциальное уравнение изогнутой оси, и установил зависимость между прогибом и нагрузкой. В 1757 г. та же формула была получена им с использованием приближённого уравнения.

Позднее Ж. Лагранж (1768 г.) подтвердил решения Эйлера, а А. Клебш (1860 г.) впервые проинтегрировал точное уравнение в эллиптических функциях, показав совпадение критических сил, полученных разными методами. Это совпадение объяснил Ф. С. Ясинский в работах [3, 4] (1892–1894 гг.), доказав, что для определения критической силы достаточно рассматривать бесконечно малые прогибы.

Упрощённые формы зависимости между прогибом и нагрузкой были предложены Р. Мизесом (1924 г.) и С. П. Тимошенко (1936 г.) [2]. Эйлер также рассматривал стержни с переменной жёсткостью и различные случаи нагружения, однако допускал ошибки при учёте распределённых нагрузок. В последующих работах (1778 г.) [5] он исправил их и получил корректные решения, включая случаи различных закреплений.

Ф. С. Ясинский [4] развил эти исследования, решив задачи устойчивости стержней под действием распределённых нагрузок и введя понятие коэффициента приведения длины. Некоторые из рассмотренных им задач получили название «задачи Ясинского» и применялись, в частности, при расчёте мостов.

Дальнейшее развитие получили методы расчёта. Энергетический метод определения критических сил был предложен С. П. Тимошенко в 1910 г. [6]. В 1913 г. И. Г. Бубнов разработал приближённый метод решения, основанный на представлении перемещений в виде ряда функций, что позволило свести задачу к системе алгебраических уравнений. Независимо от него аналогичный метод был предложен Б. Г. Галеркиным в 1915 г. [7] и впоследствии широко применялся в задачах математической физики.

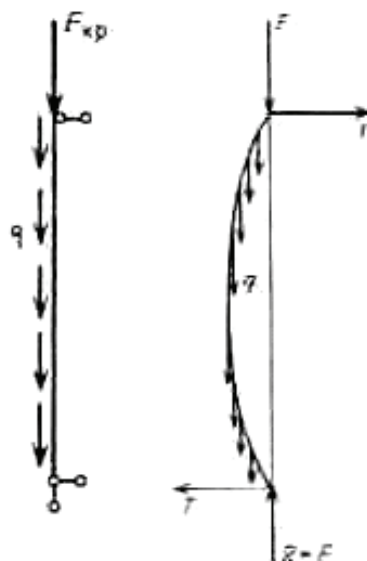


Рис. 1. Задача об устойчивости стержня, поставленная Эйлером

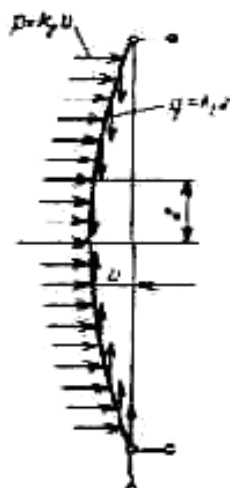


Рис. 2. Задача об устойчивости стержня, поставленная Ясинским

Общие сведения о расчетных длинах железобетонных элементов

Расчетная длина сжатого элемента конструкции — это условная длина, при которой элемент с идеальными шарнирными опорами достигает критического состояния устойчивости, идентичного реальному элементу при его фактических условиях опирания и взаимодействии с конструкцией в целом. Данный параметр учитывается в расчетах на общую устойчивость сжатых и внецентренно-сжатых железобетонных элементов и играет важную роль при проверке их несущей способности.

С инженерной точки зрения, расчетная длина l_0 отражает способность элемента сопротивляться потере устойчивости при продольном сжатии. Потеря устойчивости возникает, когда продольная сила в элементе превышает критическое значение, приводящее к внезапному изгибу или деформированию стержня. Это явление носит геометрически нелинейный характер и требует оценки предельной гибкости элемента, зависящей от его длины, сечения, условий закрепления и жесткости сопряженных элементов.

Формула Эйлера для критической нагрузки:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}$$

показывает, что чем меньше расчетная длина, тем выше критическая сила устойчивости, и наоборот. Однако для железобетонных элементов, в отличие от металлических, данная формула применяется с ограничениями, так как нелинейные деформационные свойства бетона и взаимодействие с арматурой имеют значительное влияние.

Расчетная длина определяется как произведение геометрической длины l элемента между узлами закрепления на коэффициент μ .

$$l_0 = \mu l$$

О том, на основе чего принимается данный коэффициент будет сказано позже.

Железобетон отличается от стали рядом особенностей, влияющих на устойчивость:

- Трещинообразование и пластические деформации уменьшают жесткость сечения;
- Поведение сечения нелинейно при увеличении продольной силы и момента;
- Воздействие ползучести и усадки со временем изменяет внутренние усилия;
- Необходимо учитывать совместную работу бетона и арматуры.

Таким образом, расчетная длина железобетонного элемента не может быть оценена исключительно по геометрии и условиям опирания. Требуется учет всей системы: опор, сопряженных элементов, податливости связей и характера нагружения.

В инженерной практике расчетная длина определяется с использованием:

- Таблиц нормативных коэффициентов;
- Аналитических расчетов устойчивости;
- Расчетных схем с податливыми опорами;
- Численных методов (МКЭ).

Подходы к определению расчетных длин

Классические нормативные подходы

На территории РФ при расчете железобетонных элементов на устойчивость применяется подход, основанный на введении коэффициента расчетной длины μ , который зависит от типа закрепления концов элемента.

В соответствии с [8] допускается принимать следующие коэффициенты расчетной длины:

Таблица 1. Коэффициенты расчетной длины по [8]

Для элементов с шарнирным опиранием на двух концах	1
Для элементов с жесткой заделкой (исключающей поворот опорного сечения) на одном конце и незакрепленным другим концом (консоль)	2
Для элементов с шарнирным несмещаемым опиранием на одном конце, а на другом конце:	
с жесткой (без поворота) заделкой	0,7
с податливой (допускающей ограниченный поворот) заделкой	0,9
Для элементов с податливым шарнирным опиранием (допускающим ограниченное смещение опоры) на одном конце, а на другом конце:	
с жесткой (без поворота) заделкой	1,5
с податливой (с ограниченным поворотом) заделкой	2
Для элементов с несмещаемыми заделками на двух концах:	
жесткими (без поворота)	0,5
податливыми (с ограниченным поворотом)	0,8
Для элементов с ограниченно смещаемыми заделками на двух концах	
жесткими (без поворота)	0,8
податливыми (с ограниченным поворотом)	1,2

Для каркасных сборных одноэтажных зданий в соответствии с [9] допускается принимать следующие коэффициенты расчетной длины:

Таблица 2. Коэффициенты расчетной длины по [9]

				попереч- ной рамы	продольной рамы		
					при наличии связей		при отсут- ствии связей
					до уровня подкра- новых балок	до верха колон- ны	
Здания с мостовыми кранами	Расчет с учетом крановой нагрузки	Подкрановая (нижняя) часть колонн при подкрановых балках	разрезных	$1,5 H_n$	$0,8 H_n$		$1,2 H_n$
			неразрез- ных	$1,2 H_n$	$0,8 H_n$		$0,8 H_n$
		Надкрановая (верхняя) часть колонн при подкрановых балках	разрезных	$2 H_n$	$1,5 H_n$	$1 H_n$	$2 H_n$
			неразрез- ных	$2 H_n$	$1,5 H_n$	$1 H_n$	$1,5 H_n$
	Расчет без учета крановой нагрузки	Подкрановая (нижняя) часть колонн зданий	однопро- летных	$1,5 H_n$	$0,8 H_n$		$1,2 H_n$
			двух- и многопро- летных	$1,2 H_n$	$0,8 H_n$		$1,2 H_n$
		Надкрановая (верхняя) часть колонн при подкрановых балках	однопро- летных	$2,5 H_n$	$1,5 H_n$	$1 H_n$	$2 H_n$
			двух- и многопро- летных	$2 H_n$	$1,5 H_n$	$1 H_n$	$1,5 H_n$
Здания без мостовых кранов	Колонны безкон- сольные	однопролетных зданий		$1,5 H$	–	$0,8 H$	$1,2 H$
		двух- и многопролетных зданий		$1,2 H$			

Численные методы

Численные методы, такие как Метод Конечных Элементов (МКЭ), позволяют моделировать элемент с учетом реальных условий работы, включая:

- Жесткость узлов и опор;
- Нелинейность материала (бетона и арматуры);
- Ползучесть и усадку;
- Пространственную работу.

В таких моделях расчетная длина не задается явно — устойчивость определяется по критической нагрузке, при которой нарушается равновесие. Однако, полученную критическую нагрузку можно эквивалентно выразить в терминах расчетной длины.

Преимущества:

- Учет реального поведения;
- Применим для сложных пространственных конструкций;
- Возможность учета всех типов нагрузок и сочетаний.

Недостатки:

- Требуется высокой квалификации;
- Требуется верификации модели;
- Трудозатратен.

Экспериментально-эмпирические подходы

При проектировании нестандартных или особо ответственных конструкций расчетная длина уточняется на основе экспериментальных данных или физических моделей:

- Испытания моделей в натуральную или масштабную величину;
- Анализ отклонений реального поведения от расчетного;
- Верификация моделей по результатам натурных наблюдений (мониторинг конструкций в эксплуатации).

Этот подход широко применяется при проектировании уникальных сооружений: мостов, башен, градирен, высотных зданий, конструкций со сложной системой связей.

Международный подход к определению расчетных длин

Еврокод 2 (EN 1992-1-1:2004)

Согласно п. 5.8.3 [10], расчетная длина l_0 сжатого элемента зависит от:

- Условий опирания концов;
- Жесткости сопряженных элементов;
- Геометрии рамы (высота этажа, пролет, высота сечения);
- Типа плоскости потери устойчивости (в плоскости или вне плоскости армирования).

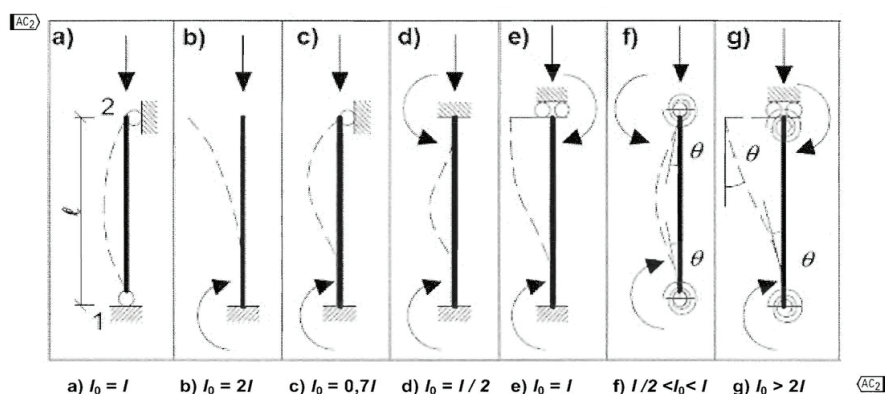


Рис. 3. Значения коэффициента расчетной длины по EN 1992-1-1

В американских нормах ACI 318 [11] используется понятие коэффициента эффективной длины k , аналогичного μ . Он применяется в расчете критической силы по формуле:

$$P_c = \frac{\pi^2(EI)_{\text{eff}}}{(kl_u)^2}$$

В самом нормативном документе не даны конкретные значения коэффициента эффективной длины k . Выбор данного параметра производится по графикам Джексона-Мореланда. Также есть условия, при которых устойчивостью колонны можно пренебречь.

Выводы

На основании изучения и анализа теоретических сведений и нормативной литературы, а также существующих подходов к определению расчетных длин сжатых и внецентренно-сжатых железобетонных элементов можно сделать следующие выводы:

1. Расчетная длина железобетонных элементов — сложная многокомпонентная величина, зависящая от геометрических характеристик элемента, внешних сил, а также нелинейных характеристик бетона и арматуры.
2. Ползучесть и трещинообразование оказывают непосредственное влияние на напряженно-деформированное состояние сжатых и внецентренно-сжатых железобетонных элементов, что в свою очередь влияет на надежность всего здания/сооружения.
3. Подходы к определению расчетных длин железобетонных элементов в разных странах различаются. Необходимо уточнение значений коэффициентов, применяемых при расчетах в соответствии с нормативами нашей страны.

Литература:

1. Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума, или решение изопериметрической задачи, взятой в самом широком смысле. — М. — Л.: ГТТИ, 1934. Приложение 1. Об упругих кривых. — С. 447–572.
2. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем. — М. — Л.: Гостехиздат, 1946. — 532 с

3. Ясинский Ф. С. Опыт развития теории продольного изгиба. // Ф. С. Ясинский. Избранные работы по устойчивости сжатых стержней. — М. — Л.: Гостехиздат, 1952. — С. 138–194.
4. Ясинский Ф. С. О сопротивлении продольному изгибу (диссертация). // Ф. С. Ясинский. Избранные работы по устойчивости сжатых стержней. — М. — Л.: Гостехиздат, 1952. — с. 11–137.
5. Эйлер Л. Определение нагрузок, которые способны выдерживать колонны. Исследование важного парадокса в теории возникновения столбов. Высота колонн при соответствующем весе обрушения // Acta Academiæ Scientiarum Imperialis Petropolitanae. 1778. Pars I-S. Petersburg: 1780. — P. 121–194.
6. Тимошенко С. П. Об устойчивости упругих систем // С. П. Тимошенко. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. — М.: Наука, 1971. — С. 208–383.
7. Галеркин Б. Г. Стержни и пластинки. Ряды в некоторых вопросах упругого равновесия стержней и пластинок // Б. Г. Галеркин. Собрание сочинений. — М.: Издательство Академии наук СССР. — 1952 — Т. I. — 168–195.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — Текст: электронный // docs.cntd.ru: [сайт]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403082> (дата обращения: 31.03.2026).
9. СП 355.1325800.2017 Конструкции каркасные железобетонные сборные одноэтажных зданий производственного назначения — Текст: электронный // minstroyrf.gov.ru: [сайт]. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/17002/> (дата обращения: 31.03.2026).
10. EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings. — Текст: электронный // eurocodes.jrc.ec.europa.eu: [сайт]. — URL: <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/> (дата обращения: 31.03.2026).
11. ACI 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete / ACI. — Текст: электронный // scribd.com: [сайт]. — URL: <https://www.scribd.com/document/806245881/ACI-318-19> (дата обращения: 31.03.2026).

Применение деревянных клеефанерных конструкций в многоэтажном строительстве

Карастелева Ирина Борисовна, студент магистратуры
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

В работе рассматриваются современные тенденции развития многоэтажного строительства с применением клееных деревянных конструкций. На основе анализа глобальных и российских рыночных данных, включая прогнозы аналитических агентств до 2033 года, оцениваются экономические и технические преимущества технологий клееного бруса, CLT-панелей и клеефанерных балок. Приводятся конкретные показатели несущей способности, теплосопротивления и стоимости строительства в сравнении с зарубежными аналогами. Отдельное внимание уделяется разработкам патентованным решениям в области клеефанерных профилей, а также перспективам внедрения цифровых технологий производства и государственного стимулирования отрасли в рамках перехода к низкоуглеродному строительству.

Ключевые слова: клееные деревянные конструкции, CLT-панели, клеефанерные балки, многоэтажное строительство, теплосопротивление, несущая способность, деревянное домостроение, низкоуглеродные технологии, модульное строительство

Application of wooden glue-faner structures in multi-storey construction

The paper examines current trends in the development of multistory construction using glued wooden structures. Based on the analysis of global and Russian market data, including forecasts from analytical agencies up to 2033, the economic and technical advantages of glued beam technologies, CLT panels and glued beams are evaluated. Specific indicators of load-bearing capacity, heat resistance and construction cost in comparison with foreign analogues are given. Special attention is paid to the development of patented solutions in the field of adhesive profiles, as well as the prospects for the introduction of digital production technologies and government incentives for the industry in the context of the transition to low-carbon construction.

Keywords: glued wooden structures, CLT panels, glued plywood beams, low-rise construction, heat resistance, load-bearing capacity, wooden house construction, low-carbon technologies, modular construction

Переход к индустриальному домостроению из клееной древесины, фиксируемый в сегменте многоэтажной недвижимости последние пять лет, знаменует смену технологической парадигмы. В начале двухтысячных годов экологич-

ность материала оставалась практически единственным аргументом в его пользу. Исследованию клеёфанерных конструкций посвящены работы ряда отечественных ученых, внесших существенный вклад в развитие теоретических основ и практических методов расчета таких систем. Авдяков Д. В., определяет клеёфанерные конструкции как композитные системы, в которых фанера, работающая в качестве стенки, и древесные пояса объединяются клеевым швом в единое сечение, способное эффективно воспринимать изгибающие нагрузки.

Жаданов В. И. отмечает, что особый интерес для строительной практики представляют клеёфанерные балки с прерывистой стенкой на недогруженных участках» [2, с. 1]. Так же рассматривает клеёфанерные балки с прерывистой стенкой как конструктивную форму, позволяющую регулировать жесткость изделия за счет варьирования площади проемов, согласно выводам исследователя, не должна превышать сорока процентов от общей площади стенки.

Гаврилов И. Н., трактует армированную клеёфанерную балку как конструкцию, в которой металлическая или пластиковая арматура, вводимая в растянутую зону, повышает несущую способность элемента до тридцати процентов по сравнению с неармированным аналогом. Экспериментальные данные, полученные автором совместно с Нестеренко А. А., подтверждают эффективность такого армирования для пролетов до двенадцати метров.

«В настоящее время объемы использования древесины в качестве строительного материала при возведении зданий и сооружений увеличиваются с каждым годом» [5, с. 2]. Автоматизированные линии Hundegger или Weinmann обеспечивают точность геометрии элементов в пределах десятых долей миллиметра, тогда как предсказуемая усадка клееного пакета, не превышающая половины процента, позволяет отказаться от традиционных технологических пауз. Индустриальная точность диктует новые логистические схемы. Согласно методологии SkyQuest, глобальный рынок клееного бруса, оценивавшийся в 2024 году в 5,1 миллиарда долларов, к 2033 году должен достичь 8,11 миллиарда. Консервативные расчеты, опубликованные в отраслевых обзорах за 2025 год, оперируют значением 3,77 миллиарда долларов с прогнозом увеличения до 4,41 миллиарда к 2030-му [2].

Разнонаправленность прогнозных оценок указывает на главный тренд. Тяжелая строительная индустрия, долгое время ориентированная на железобетон и металл, последовательно смещает акценты в пользу материалов с низким углеродным следом.

На внутреннем рынке, по данным IBISWorld за 2026 год, объем производства столярно-строительных изделий достигает 2,3 миллиарда евро. Двадцать тысяч триста одиннадцать зарегистрированных предприятий ведут конкурентную борьбу в условиях высокой фрагментации.

Именно в таких обстоятельствах — при растущем спросе и раздробленности предложения — точность инженерных расчетов и соблюдение режимов склеивания, регламентированных стандартами ANSI 117 или европей-

ским EN 14080, перестают быть исключительно техническими требованиями.

Проектирование перекрытий и стропильных систем в деревянном домостроении за последнее десятилетие обогатилось появлением композитных решений, среди которых клеёфанерные балки выделяются оптимальным соотношением несущей способности и материалоемкости. В сравнении с цельнодеревянными аналогами или двутавровыми балками с ориентированно-стружечной стенкой применение таких конструкций позволяет снизить затраты на перекрытие типового жилого модуля до двадцати процентов. «Одним из наиболее индустриальных и экономичных видов конструкций являются конструкции, выполненные их клееной древесины» [1, с. 16].

Для стенок применяется березовая фанера марки ФСФ сорта не ниже В/ВВ. Соединение элементов в цельное изделие осуществляется с использованием резорциновых или фенольно-резорциновых клеев, обеспечивающих водостойкость соединения в соответствии с классом эксплуатации 2 по ГОСТ 33080–2014.

На внутреннем рынке формирование сегмента CLT находится в активной фазе. Согласно прогнозам аналитиков BN Group, объем российского рынка перекрестно-ламинированных панелей к 2030 году способен достичь 82 миллионов долларов США, что в рублевом эквиваленте составляет около 7 миллиардов. Устойчивость цен на CLT-панели к макроэкономическим колебаниям подтверждается динамикой последних лет. В 2025 году, когда профилированный брус подорожал на пятнадцать процентов, увеличение стоимости перекрестно-ламинированных конструкций оказалось вдвое меньше — всего десять процентов.

Прогнозные показатели на 2026 год, по оценкам отраслевых аналитиков, укладываются в диапазон от трех до семи процентов. В пересчете на квадратный метр площади домокомплект из CLT-панелей обходился заказчикам в 2025 году в сумму от 15 до 25 тысяч рублей без учета фундамента, сборки, инженерных коммуникаций и отделочных работ.

В основе производства перекрестно-ламинированных панелей лежит принцип послойного склеивания конструкционным клеем пиломатериалов хвойных пород — лиственницы, ели или сосны — с обязательным чередованием направления волокон в смежных слоях, что обеспечивает изотропию механических свойств в плоскости изделия. «Борьба за экологичность привлечет поклонников древесины, ратующих за природные материалы и снижение углеродного следа» [4, с. 45]. Компьютеризированные системы автоматизированного проектирования и числового программного управления, объединенные в единый технологический конвейер, позволяют достичь точности обработки элементов, измеряемой десятками долями миллиметра, и организовать прямую передачу данных от проектировщика к производственному оборудованию.

Снижение отходов достигается за счет такой интеграции. В Дальневосточном федеральном университете разработана пространственная схема деревянного дома,

где распределение нагрузок подчинено строгой иерархии, до 90 % возникающих усилий воспринимает каркас из клееных брусев, тогда как на ограждающие конструкции приходится лишь пять-десять процентов. Силовой каркас панели в данной системе образуют клефанерные профили переменного сечения, конструктивные решения которых защищены патентами Российской Федерации.

Жесткость такой конструкции формируется по принципу замкнутой рамы. Продольные и поперечные клефанерные элементы, объединенные в единую пространственную систему, обеспечивают перераспределение нагрузок без значимых деформаций. Наружная обшивка выполняется из ориентированно-стружечной плиты толщиной 18 мм. Внутренняя поверхность панели закрывается двумя листами гипсоволокнистого материала общей толщиной 18 мм, что соответствует требованиям противопожарных норм, предъявляемым к ограждающим конструкциям жилых зданий. Для условий юга Приморского края теплотехнический расчет определяет оптимальную толщину панели в 185 мм. Габариты в плане, составляющие 1200 x 2400 мм, продиктованы размерами используемых листов OSB и ГВЛ, что обеспечивает полную модульность производства и унификацию складской логистики.

Сравнительные испытания показывают превышение прочностных характеристик в 2,5–3 раза относительно стандартных каркасных панелей. Низкая деформативность от влажностных воздействий приобретает решающее значение для эксплуатации в районах с влажным климатом.

Переход к регенеративным технологиям в строительной отрасли требует пересмотра подходов к ресурсопотреблению. Возобновляемость сырья, полная перерабатываемость материалов и способность аккумулировать углерод в долгосрочной перспективе формируют основания для признания древесины полностью устойчивым конструкционным материалом [8].

Для регионов с развитой лесной промышленностью и суровыми климатическими условиями применение клефанерных конструкций открывает дополнительные возможности. «Изучение механических свойств CLT-панелей играет важную роль в понимании и оценке их производственных и конструктивных характеристик» [6, с. 391]. Расширение нормативно-правовой базы, фиксируемое в последние годы,

позволяет использовать CLT не только в индивидуальном, но и в крупномасштабном строительстве — в особенности на территориях северных и дальневосточных регионов, где повышенная сейсмическая активность предъявляет особые требования к несущим системам.

Отмечается, что распределение объемов деревянного домостроения в текущем году претерпевает заметные изменения: доля панельно-каркасных технологий возрастет с семидесяти до семидесяти четырех процентов, тогда как сегмент CLT-панелей, формирующийся преимущественно за счет проектов многоквартирного жилья, достигнет отметки в три процента от общего объема рынка.

Формирование нового сектора инновационной экономики в Дальневосточном регионе ориентировано на создание высокотехнологичного модульного производства деревянных зданий. Участие в государственных программах по расселению ветхого и аварийного жилья, способное обеспечить производителей клееной древесины стабильным портфелем заказов, выступает потенциальным драйвером увеличения объемов выпускаемой продукции [7].

Среди направлений развития многоэтажного строительства в России клефанерные конструкции выделяются сбалансированным сочетанием несущей способности, материалоемкости и теплотехнических характеристик. Широкий диапазон климатических зон, от умеренного до резко континентального, оказывается доступным для применения таких решений благодаря их адаптивности к температурно-влажностным условиям [3].

Итак, внедрение автоматизированных линий обработки древесины и станков с числовым программным управлением позволяет производителям сдерживать рост себестоимости продукции. Реальная стоимость клееных деревянных конструкций в среднесрочной перспективе, вероятно, будет увеличиваться темпами, значительно отстающими от общего уровня инфляции. Государственная политика, направленная на стимулирование применения экологически чистых и энергоэффективных материалов, создает благоприятные условия для расширения сегмента. Организация производства и строительства с использованием клефанерных конструкций способна обеспечить население регионов качественным и доступным жильем при соблюдении принципов устойчивого развития.

Литература:

1. Авдяков, Д. В. Сопротивление сдвиговой формы разрушения клееных изгибаемых клееных деревянных конструкций / Д. В. Авдяков, А. М. Москальчук // Вестник науки. — 2024. — Т. 1, № 2 (71). — С. 16–22
2. Жаданов, В. И. Алгоритмы расчёта клефанерных балок с прерывистой стенкой по деформациям / В. И. Жаданов, М. А. Нестеренко, А. А. Гаврилов, И. Н. Чарикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. — 2025. — № 4. — С. 1–12.
3. Житушкин, В. Г. Расчет элементов конструкций из цельной древесины: учебное пособие / В. Г. Житушкин, А. К. Рябухин, М. В. Чумак; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. — Краснодар: КубГАУ, 2024. — 102 с.
4. Коростелева, Н. В. Достижение экономической эффективности строительного производства за счет внедрения инновационных технологий / Н. В. Коростелева, С. О. Яценко, Д. С. Ишкулов, Е. С. Кашина, А. С. Фролова // Экономика и управление: теория и практика. — 2023. — № 3. — С. 45–52

5. Лабудин, Б. В. НДС в элементах и узлах многоквартирного здания из CLT-панелей в условиях сейсмики / Б. В. Лабудин, В. В. Чередниченко, А. В. Карельский, Е. В. Попов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. — 2024. — № 4. — С. 1–12.
6. Трошин, М. Ю. Влияние толщины поперечных и продольных слоев на деформативность и распределение напряжений в пятислойных плитах древесины перекрестно-клееной / М. Ю. Трошин, А. В. Турков // Вестник МГСУ. — 2023. — Т. 18, № 3. — С. 391–400.
7. Design Methodology Incorporating a Sound Insulation Prediction Model, Life Cycle Assessment (LCA), and Thermal Insulation: A Comparative Study of Various Cross-Laminated Timber (CLT) and Ribbed CLT-Based Floor Assemblies // Acoustics. — 2024. — Т. 6, № 4. — С. 1021–1046.
8. Kamionka, L. Selected Aspects of Designing Pro-ecological Buildings Based on CLT / L. Kamionka, A. Wdowiak-Postulak, J. Gil-Mastalerczyk, B. Ordon-Beska // Materiały Budowlane. — 2024. — Т. 619, № 3. — С. 41–44.

Обоснование схемы местных отсосов в литейном цехе

Лебедева Екатерина Сергеевна, студент магистратуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

В статье предложена классификация конвективных источников по трём критериям: температурному напору, влажностному содержанию и дисперсности выделяемой пыли. Рассмотрено три секции литейного цеха: плавильное, смесеприготовительное, формовочное с камерным сушилом. Показано, что один и тот же тип оборудования (например, заливочная емкость) требует разных отсосов в зависимости от длительности технологической операции.

Результаты могут служить основой для последующего математического и компьютерного моделирования тепловоздушного режима.

В качестве объекта для проведения исследований был выбран литейный цех площадью 70 200 м², расположенный в Ленинградской области.

Ключевые слова: вентиляция, литейный цех, местный отсос, конвективный источник, тепловоздушный режим.

Justification of local suction scheme in foundry shop

Lebedeva Ekaterina Sergeevna, master's student
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

Введение

Проектирование систем аспирации и вентиляции литейных цехов осложняется наличием оборудования с принципиально разными механизмами выделения вредностей. В одном объёме могут одновременно работать:

- электродуговые печи (конвективно-радиационный нагрев);
- заливочные емкости с жидким металлом (преимущественно излучение и конвекция от открытой поверхности);
- камерные сушилки (конвективно-влажностный поток);
- дробилки валковые и бегуны смешивающие (холодная пыль, аэрозоль).

При этом руководства [1, 2] предлагают типовые схемы отсосов, но не содержат алгоритма выбора при одновременном действии источников разных классов. На практике это приводит либо к избыточному запасу по расходу воздуха, либо к неэффективной работе местной вытяжки.

Результаты

1. Классификация конвективных источников по трём признакам

1.1. Температурный напор — $\Delta T = T_{\text{ист}} - T_{\text{в}}$. [2]

- низкий ($\Delta T < 30^\circ\text{C}$) — конвективный факел слабый, скорость подъёма $< 0,3$ м/с. Опасность — рассеивание пыли в рабочей зоне;
- средний ($\Delta T = 30\text{--}150^\circ\text{C}$) — устойчивый ламинарный факел, требуется перехват до зоны фонарей;
- высокий ($\Delta T > 150^\circ\text{C}$) — мощная турбулентная струя, возможен выброс через фонари, но опасность облучения и конвективного нагрева рабочей зоны.

Возьмём электродуговую печь:

- температура газов над ванной $T_{ист} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температура воздуха в цехе $T_{в} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\Delta T = 400 - 25 = 375\text{ }^{\circ}\text{C}$ — высокий напор.

Подъёмная скорость на высоте 2 м над печью (по приближённой формуле) составит $\approx 2,5\text{ м/с}$.

Полученная скорость очень высока. Без кожуха факел достигнет фонарей за считанные секунды, расширившись до 3–4 м в диаметре. Никакой зонт такого потока не перехватит — нужен кожух, охватывающий источник.

1.2. Влагосодержание выделяемого воздуха — $\varphi_{ист}$. [2]

- сухой ($\varphi_{ист} < 5\text{ г/кг}$) — только тепло и пыль;
- влажный ($\varphi_{ист} > 10\text{ г/кг}$) — конденсация в воздуховодах, риск обмерзания, изменение плотности факела.

Возьмём камерное сушило:

В отличие от температуры, влажность влияет не на динамику факела, а на фазовое поведение вредностей и условия эксплуатации отсосов.

- Температура внутри сушила: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Относительная влажность: 15 % (режим сушки форм);
- Атмосферное давление: 101325 Па ;

Давление насыщенного пара при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$: $P_{нас} = 198540\text{ Па}$;

Парциальное давление пара: $P_{пар} = 0,15 \cdot 198540 = 29781\text{ Па}$;

Влагосодержание: $\varphi_{ист} = 622 \cdot 29781 / (101325 - 29781) = 259\text{ г/кг}$.

$\varphi_{ист} = 259\text{ г/кг}$ — это очень влажный воздух. При выходе из сушила и смешении с цеховым воздухом ($\varphi_{цех} \approx 10\text{ г/кг}$) начнётся интенсивная конденсация на холодных поверхностях воздуховода.

Для камерного сушила нельзя использовать обычный зонт — нужен зонт с подогревом (или с коротким вертикальным воздуховодом без горизонтальных участков), чтобы избежать конденсации внутри системы отсоса.

Для таких источников обязательным является использование коротких вертикальных воздуховодов, тепловой изоляции или подогрева стенок. В сухих процессах (электродуговые печи, дробилки валовые, бегуны смешивающие) это ограничение отсутствует.

1.3. Дисперсность пыли — d_{50} . [2]

– это размер частиц пыли, относительно которого 50 % массы пыли состоит из частиц меньшего диаметра, а 50 % — из частиц большего диаметра.

Крупная ($d_{50} > 100\text{ мкм}$) — быстрое оседание, достаточно укрытия.

Мелкая ($d_{50} < 20\text{ мкм}$) — требуется высокая скорость всасывания и герметизация.

Пыли нет — только тепло и/или газ.

Самая опасная и трудная для улавливания пыль — от электродуговой печи (мелкая оксидная) и бегунов смешивающих (кварцевая $d_{50} = 5\text{--}20\text{ мкм}$). Именно эти источники требуют максимальной герметизации отсосов. При движении воздуха к всасывающему отверстию она легко отклоняется вместе с линиями тока. Если есть хотя бы маленькая щель — воздух пойдёт через щель (меньше сопротивление), а пыль уйдёт мимо отсоса.

На основе этих трёх признаков все оборудование цеха разбивается на 5 типов конвективных источников (таблица 1).

Таблица 1. Типы конвективных источников

Тип	ΔT	Влага	Пыль	Пример
I	Высокий	Сухой	Нет	Электродуговая печь (расплав)
II	Высокий	Влажный	Нет	Камерное сушило (сушка форм)
III	Средний	Сухой	Мелкая	Бегуны, дробилки
IV	Низкий	Сухой	Крупная	Грохоты
V	Средний	Сухой	Нет	Заливочная ёмкость (открытое зеркало металла)

Учет общеобменных факторов при выборе отсосов:

Классификация источников является необходимой, но недостаточной. В цехе с размерами $54 \times 48 \times 10\text{ м}$ и 6-ю аэрационными фонарями необходимо дополнительно учитывать:

- взаимное влияние отсосов — два рядом стоящих кожуха не должны создавать перекрёстных струй (минимальное расстояние 3 м по оси).
- компенсация вытяжки притоком — при одной приточной системе на весь цех местные отсосы не должны создавать разрежение более 5 Па [2].
- душирование — не размещать душирующие патрубки напротив открытых проёмов шкафов, так как сдувает пыль в цех.

2. Анализ сечений потоков воздуха на уровне людей и поперечного сечения цеха как ограничивающих факторов при выборе местных отсосов

Любая классификация источников и таблица решений остаются неполными без анализа двух принципиальных факторов: распределения скоростей в зоне дыхания (уровень людей, 1,5–2,0 м от пола) и поперечного сечения цеха как единого аэродинамического тракта.

На уровне людей (высота 1,5–2 м) скорость воздуха от приточных устройств не должна превышать 0,5 м/с в холодный период и 0,8 м/с в тёплый [3]. Если душирующий патрубок создаёт на уровне головы скорость $> 1,0$ м/с — он вызовет локальное охлаждение и жалобы персонала, даже если тепловыделения большие.

Ниже приведено: поперечного сечения А-А (разрез через плавильное и формовочное отделения) и сечение потоков воздуха на уровне людей (1,5 м), расчеты выполнены в программе ANSYS.

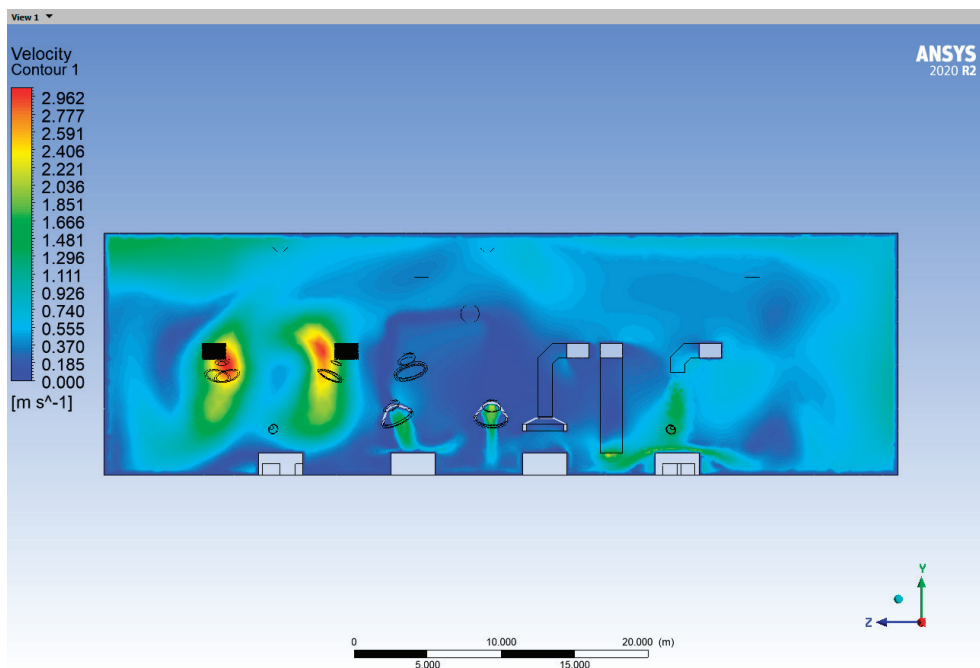


Рис. 1. Поперечное сечение А-А

Важное ограничение, вытекающее из поперечного сечения:

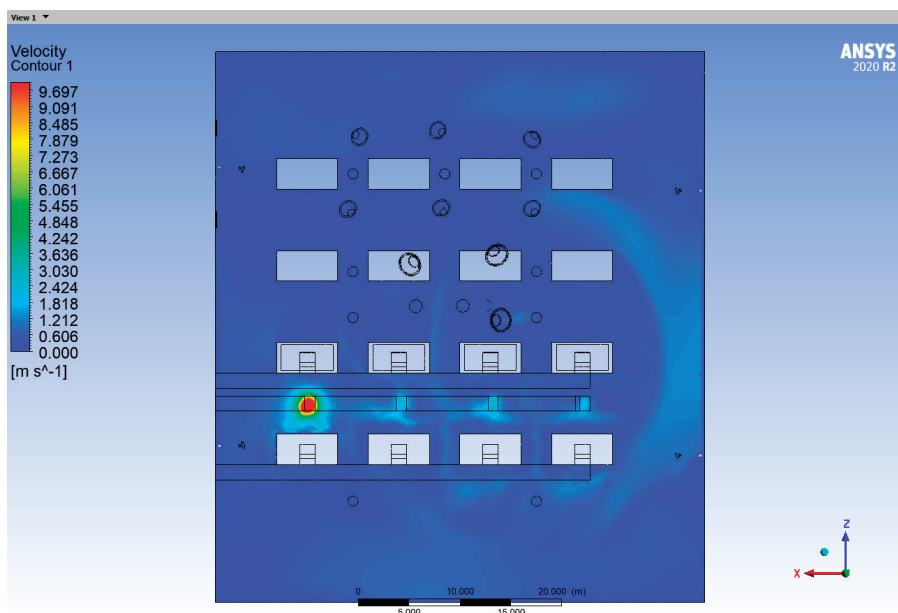


Рис. 2. Сечениях потоков воздуха на уровне людей

Местные отсосы, установленные в нижней зоне (0–4 м), не должны создавать горизонтальных потоков, пересекающих всё сечение цеха. Максимальная дальность действия всасывающего отверстия — не более 10 его диаметров.

Вывод

Разработана классификация конвективных источников литейного цеха по трём признакам: температурный напор, влагосодержание, дисперсность пыли. Выделено 5 типов.

Предложенная классификация может служить основой для постановки задачи математического моделирования: для каждого типа источника определены граничные условия (температура, скорость факела, начальный диаметр), которые необходимо задавать в моделировании.

Литература:

1. «Проектирование промышленной вентиляции» — М.: Стройиздат, 2019, Торговников Б. М.;
2. «Местные отсосы на предприятиях машиностроения» — М.: Машиностроение, 2020, Сафонов В. С.;
3. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Исследование влияния ошибок проектирования на несущую способность конструкций на примере торгового центра в г. Астане

Мукатаева Малика Сериковна, студент магистратуры;
 Рахимова Жанара Байболсыновна, магистр, преподаватель;
 Есиркепова Айым Бахытбековна, PhD, старший преподаватель
 Научный руководитель: Рахимов Асхат Муратович, PhD, ассистент профессора
 Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (Казахстан)

В статье рассматриваются причины возникновения дефектов несущих конструкций торгового центра в г. Астана, обусловленные проектными ошибками и нарушениями технологии строительно-монтажных работ. Проведено комплексное техническое обследование, включающее визуальный осмотр, геодезические измерения, поверочные расчёты и анализ фактического состояния конструкций. Установлено, что существующие усиления недостаточны для обеспечения требуемой прочности. Разработан комплекс мероприятий по повышению эксплуатационной надёжности и устойчивости объекта.

Ключевые слова: усиление, колонны, балки, металлоконструкции, железобетонные конструкции, дефекты, повреждения, инструментальное обследование, проектирование.

Введение

В современных условиях развития строительной отрасли обеспечение надёжности и долговечности зданий становится первостепенной задачей, особенно для объектов коммерческого назначения, таких как торговые центры. Одной из наиболее критичных проблем является влияние ошибок проектирования на несущую способность конструкций. Нарушения, допущенные на этапе разработки проекта, могут привести к перераспределению нагрузок, изменению характера напряжений и, как следствие, к снижению устойчивости и даже аварийному состоянию конструкции.

В работе «Об ошибках проектирования строительных конструкций» (Ю. Ю. Арушонок, Волгоградский государственный технический университет, Инженерный вестник Дона, № 11 (2021)) подробно проанализированы случаи, когда неразрезные соединения и другие проектные недочёты приводили к перераспределению усилий в элементах строительных конструкций, что существенно увеличивало риск потери устойчивости конструкции [1]. Данный источник демонстрирует, что даже незначительные отступления от проектных решений могут оказать критическое воздействие на надёжность возводимых объектов.

Аналогично, в публикации «Ошибки при проектировании зданий и сооружений» (Корнева Е. Р., Вестник науки и образования № 6(18) 2016) автор акцентирует внимание на том, что ошибки, допущенные в процессе разработки проектной документации, зачастую обусловлены недостаточной квалификацией проектировщиков, неэффективной организацией проектных работ и отсутствием должного контроля расчетов. Эти факторы приводят к возникновению

конструктивных дефектов, способных вызвать значительные деформации и обрушения, что налагает дополнительные материальные и временные затраты на устранение последствий [2].

В свою очередь, статья «Влияние дефектов конструкций и ошибок проектирования на этапах возведения монолитного каркасного здания» (Клюев К. А., Кузнецов А. А., СтройМного, 2017) демонстрирует, что допущенные на стадии проектирования отклонения и последующие технологические нарушения в ходе строительства приводят к изменению характера нагрузок — вместо расчетных растяжений в элементах конструкции действуют сжимающие усилия, что существенно снижает несущую способность здания [3]. Этот опыт подчеркивает важность комплексного подхода к контролю качества на всех этапах проектирования и строительства.

Анализ литературы по проблеме ошибок проектирования свидетельствует о том, что даже незначительные отклонения от нормативных требований способны привести к перераспределению нагрузок, изменению характера напряжений и снижению устойчивости конструкций. Так, в работе «Об ошибках проектирования строительных конструкций» (Ю. Ю. Арушанок, Инженерный вестник Дона, № 11 (2021)) приводится пример, когда неразрезные соединения в узлах стропильных ферм приводят к существенному изменению распределения усилий, что повышает риск потери устойчивости. Аналогичные выводы содержатся в публикации «Ошибки при проектировании зданий и сооружений» (Корнева Е. Р., Вестник науки и образования № 6(18) 2016) и в статье «Влияние дефектов конструкций и ошибок проектирования на этапах возведения монолитного каркасного здания» (Клюев К. А., Кузнецов А. А., СтройМного, 2017).

В настоящей работе приведён пример совокупности таких нарушений как ошибки в проектировании, нарушения технологии строительно-монтажных работ, которые привели к существенным конструктивным дефектам, выраженным в прогибах несущих балок перекрытия здания торгового центра. Данные дефекты возникли вследствие допущенных ошибок в проектировании и несоответствия расчетных параметров реальным эксплуатационным нагрузкам.

Для определения причин возникновения данных дефектов было проведено комплексное техническое обследование здания торгового центра, расположенного в г. Астана (далее — Объект). Необходимость проведения обследования вызвана обнаружением визуальных прогибов балок на объекте торгового центра, что подтверждено геодезическими измерениями, показывающими превышение допустимых норм. По результатам обследования наблюдается визуальный прогиб и трещины в середине пролета, что свидетельствует о недостаточной конструкционной прочности данного участка.

Методика исследования. Обследование Объекта проводилось в соответствии с требованиями СП РК 1.04–101–2012 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений» с применением неразрушающих методов диагностики [4].

Комплексное исследование эксплуатационной пригодности конструкций торгового центра на Объекте состояло из следующих этапов:

- подготовительное обследование;
- общее и детальное инструментальное обследование с тотальной инспекцией и выборочными испытаниями на месте;
- расчет прочностных характеристик конструкций;
- исследование и анализ характера дефектов и повреждений, причин их возникновения;
- выбор стратегии и разработка соответствующих рекомендаций по восстановлению эксплуатационной пригодности.

Подготовительное обследование включало работы по сбору и анализу исходных данных по Объекту, в том числе — изучение архивных материалов, нормативно-технических документов, проектной документации, а также пояснительной записки, предоставленной представителями заказчика. На основании этих данных была составлена краткая характеристика обследуемых конструкций, включающая фундамент, перекрытия, железобетонные и металлические элементы, а также кровлю.

Общее и детальное инструментальное обследование строительных конструкций на Объекте включало:

- идентификацию и анализ фактически реализованных конструктивных решений торгового центра;
- проведение тотального визуального осмотра с фотофиксацией выявленных дефектов и повреждений (прогибы, трещины, деформации) в элементах конструкций и их сопряжениях;
- вскрытие и зондирование выборочных участков выполняется для проведения детального инструментального обследования с применением необходимого комплекта приборов;
- выполнение геодезических измерений для определения фактического расположения конструктивных элементов и уклонов.

Расчет прочностных характеристик конструкций осуществлялся с учетом фактических данных, полученных на этапах подготовительного и инструментального обследования, что позволило уточнить соответствие проектных решений реальным нагрузкам и эксплуатационным условиям. Дополнительно, методика расчета базировалась на использовании программного комплекса Лира САПР, который обеспечивал всесторонний анализ конструктивных решений. В рамках методологии выполнялись следующие этапы:

Выбор стратегии и разработка рекомендаций по восстановлению эксплуатационной пригодности торгового центра проводились на основе анализа совокупных результатов комплексного исследования, включающих оценку характера и объема дефектов, причин их возникновения, а также опыта отечественных и зарубежных исследований в данной области. Результаты позволили сформировать комплекс мероприятий по усилению конструктивных элементов и обеспечению безопасности эксплуатации Объекта.

Результаты и обсуждение. Подготовительное обследование проведено согласно требованиям действующих норм [4]. Анализ результатов подготовительного обследования показал, что фактически выполненные конструктивные решения торгового центра в целом соответствуют рабочему проекту.

Подготовительным обследованием определены конструктивные и объемно-планировочные решения объекта.

Объект представляет собой каркасное здание прямоугольной формы с размерами по осям «А–Р» — 97,9 м и «1–15» — 108,4 м (см. Рисунок 1). Общая площадь застройки составляет 8798,05 м².

Здание имеет различную этажность. Для удобства описания конструкций здание было условно разделено на 3 блока:

- Блок 1 — в осях «1–4»/«Б–Д» представляет собой одноэтажное помещение с высотой от пола до плиты перекрытия ~ 6 м;
- Блок 2 — в осях «1–15»/«Д–М» состоит из двух этажей с высотой от пола до плиты перекрытия/покрытия ~ 4 м;
- Блок 3 — в осях «4–12»/«Б–Д» представляет собой большое одноэтажное помещение, разделенное по оси «8» перегородкой. Наивысшая отметка составляет 14 м. Обследуемый участок конструкций расположен в осях «4–8»/«Б–Д».

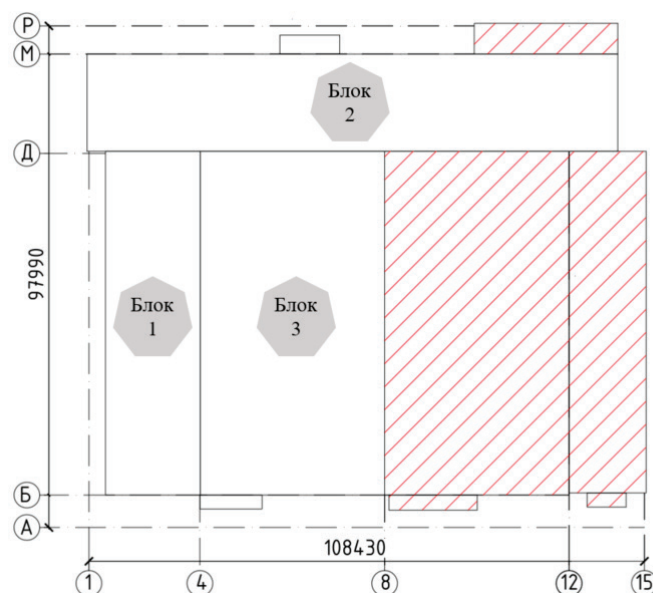


Рис. 1. Основные размеры здания в осях

По типу конструктивного решения Объект является зданием со смешанным каркасом. Основными элементами пространственного каркаса являются:

- Колонны четырех типов:
 - 1) Сборные железобетонные колонны различного сечения;
 - 2) Металлические колонны двутаврового сечения с размерами 200x200x10 мм.
- Железобетонные балки ригеля квадратного сечения 400x400 мм;
- Монолитные железобетонные перекрытия;
- Металлические подкровельные конструкции в виде:
 - 1) Основных несущих балок двутаврового сечения;
 - 2) Прогонов из балок двутаврового сечения и швеллеров;
 - 3) Ферм;
 - 4) Горизонтальных связей в виде уголков и труб квадратного сечения.

Геометрическая неизменяемость и пространственная жесткость обеспечивается совместной работой подкровельного каркаса с жестким диском перекрытия и покрытия, а также системой связей.

Кровля — мягкая. В осях «2–13»/«Е–М» кровля односкатная, состоит из слоев: 1) монолитной железобетонной плиты покрытия; 2) ПВХ пленки; 3) двух слоев минераловатных плит общей толщиной 160 мм; 4) гидроизоляционного покрытия в виде мембраны.

В осях «2–4»/«Б–Д» и «10–12»/«Б–Д» кровля односкатная, в осях «4–10»/«Б–Д» — двускатная. Указанные участки состоят из слоев:

- 1) профилированного листа;
- 2) ПВХ пленки;
- 3) двух слоев минераловатных плит общей толщиной 160 мм; 4) гидроизоляционного покрытия в виде мембраны.

Также, при подготовительном обследовании установлено, что на участке в осях «8», «9» и «10» произведено усиление железобетонных балок. Для повышения их несущей способности данные балки дополнительно укреплены металлической обоймой, выполненной из высокопрочных уголков. Эти уголки обеспечивают надежное соединение с соседними железобетонными балками, также усиленными уголками, что создает целостную систему распределения нагрузок. Усиление балок достигается за счет жесткой связки с плитой покрытия посредством сквозного стягивания уголков специальными хомутами. Применение данных материалов позволяет обеспечить повышенную устойчивость конструкции к динамическим и статическим нагрузкам, соответствуя требованиям действующих нормативов.



Рис. 2. Усиленные железобетонные балки здания

В процессе проведения общего визуального и детального инструментального обследования конструкций торгового центра согласно действующим нормам [4] были выявлены многочисленные характерные дефекты и повреждения, такие как:

1. Значительные прогибы подкровельных конструкций в осях «1–4»/«Г–Д» (Рисунок 3). Деформациям подвержены прогоны и горизонтальные связи. В местах со значительным прогибом наблюдается разрыв полок прогонов из швеллера, а также их деформация со скручиванием.



Рис. 3. Деформация подкровельных конструкций здания

2. Основной причиной возникновения прогибов металлических прогонов, горизонтальных связей и профилированных листов покрытия является непроектное исполнение металлических подкровельных конструкций Блока 1, а также чрезмерная нагрузка на конструкции от скоплений снега на кровле в описываемом участке в зимний период времени, о чем свидетельствуют следы атмосферных застоев на поверхности кровельного настила (Рисунок 4). Очертания участков атмосферных застоев на поверхности кровельного настила также совпадают с картой расположения прогибов, полученных при геодезическом контроле конструкций.

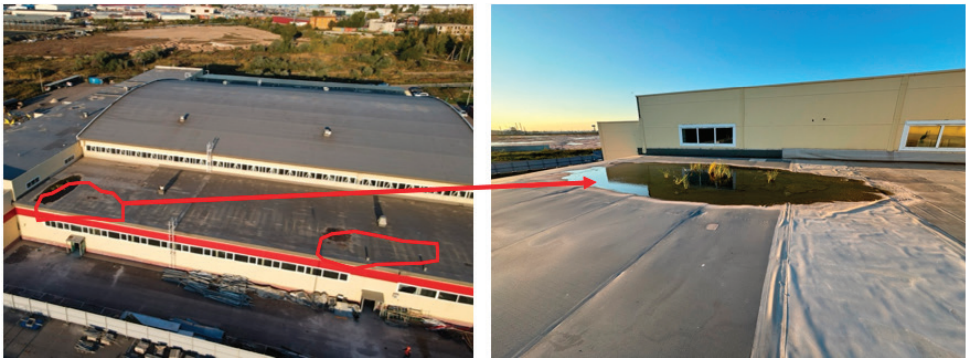


Рис. 4. Следы атмосферных застоев на дефектном участке кровли Блока 1

3. Также косвенной причиной образования скоплений снега в зимний период является недостаточный уклон кровли. Результаты геодезического контроля кровли Объекта на участке прогибов балок подтвердили наличие отклонений геометрии конструкций от проектных параметров, что требует оперативного корректирующего вмешательства для предотвращения дальнейшего ухудшения состояния объекта.

Данные результаты указывают на необходимость комплексных мероприятий по усилению конструктивных элементов торгового центра, корректировке технологий ремонта и восстановлению эксплуатационных характеристик объекта для обеспечения его долгосрочной безопасности и надёжности.

В процессе обследования здания были выполнены поверочные расчеты, основанные на фактических данных, полученных в ходе инструментального обследования. Это позволило обеспечить объективную оценку состояния конструктивных элементов и выявить отклонения от установленных нормативных требований.

По результатам поверочного расчета, выполненного с учетом фактических параметров железобетонных и металлических конструкций каркаса здания, **установлено, что несущая способность балок Блока 1 и Блока 2 не обеспечена.** Результаты поверочного расчета, представленные ниже, подтверждают данный вывод.

Таблица 1. Усилия от РСН [СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011_1]

N загруз.	Наименование	Взаимонискл.	Козф. безоп.	1.PCH1_I_6.1i	2.PCH2_I_6.1i	3.PCH3_I_6.1i	4.PCH4_I_6.1i	5.PCH5_I_6.1i	6.PCH6_I_6.1i	7.PCH7_I_6.1i	8.PCH8_I_6.1i	9.PCH9_IV_6	10.PCH10_IV_	11.PCH11_IV_	12.PCH12
1	Загружение 1		1.35	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
2	Загружение 2		1.35	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
3	Загружение 3		1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	Загружение 4		1.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
5	Загружение 5	1	1.5	0.6	0.	0.	0.	-0.6	0.	0.	0.	0.6	0.	0.	0.
6	Загружение 6	1	1.5	0.	0.6	0.	0.	0.	-0.6	0.	0.	0.	0.6	0.	0.
7	Загружение 7	1	1.5	0.	0.	0.6	0.	0.	0.	-0.6	0.	0.	0.	0.6	0.
8	Загружение 8	1	1.5	0.	0.	0.	0.6	0.	0.	0.	-0.6	0.	0.	0.	0.6

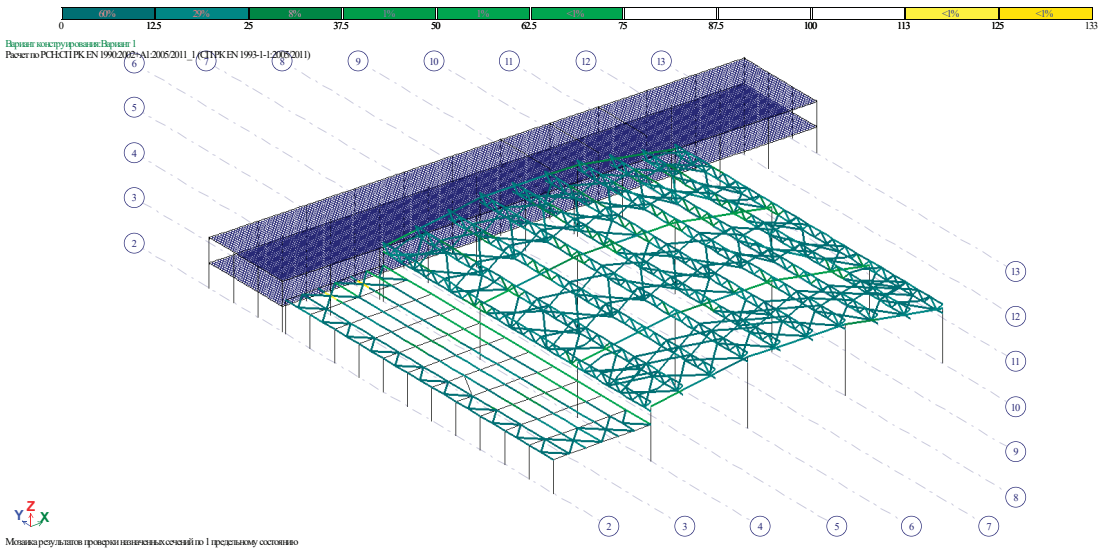


Рис. 5. Мозаика результатов проверки назначенных сечений по 1 предельному состоянию

Также был проведен поверочный расчет усиления железобетонных балок на втором этаже, выполненного на участке. Сечение балки $b \times h = 400 \times 400$ мм.

Класс бетона балки — В25.

Армирование балки — 2Ø25А400мм.

Несущая способность наклонного сечения железобетонного изгибаемого элемента, усиленного установкой дополнительных поперечных хомутов, определяется из выражения:

$$Q_{\text{вн}} \leq Q_6 + Q_{\text{yc}} \quad (1)$$

где

Q_6 — поперечная сила, воспринимаемая наклонными сечениями усиливаемого элемента;

Q_{yc} — поперечная сила, воспринимаемая хомутами усиления.

$$Q_6 = Q_b + Q_{\text{sw}}$$

$$Q_{\text{yc}} = Q_{\text{sw,yc}},$$

где

$Q_b = (1 + \varphi_n + \varphi_f) R_{bt} b h_0^2 / c$ — предельное поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны усиливаемого элемента;

$$Q_{\text{sw}} = q_{\text{sw}} c_0;$$

$$Q_{\text{sw,yc}} = q_{\text{sw,yc}} c_0 s;$$

$q_{\text{sw}} = R_{\text{sw}} A_{\text{sw}} / S$; $q_{\text{sw,yc}} = R_{\text{sw,s}} A_{\text{sw,s}} \gamma_{ss} / S_s$ — погонные усилия в хомутах усиливаемого элемента и хомутах усиления соответственно.

R_{sw} , $R_{\text{sw,s}}$ — расчетные сопротивления арматуры при расчете прочности наклонных сечений усиливаемого элемента и хомутов усиления;

A_{sw} , $A_{\text{sw,s}}$ — площади сечения поперечной арматуры усиливаемого элемента и хомутов усиления;

S , S_s — шаг поперечных стержней в усиливаемом элементе и шаг хомутов усиления;

$\gamma_{ss} = 0,85$ — коэффициент условий работы хомутов усиления.

Для обеспечения прочности бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами должно выполняться условие:

$$Q \leq 0,3 \varphi_w R_b b h_0 \quad (3)$$

Оценка прочности наклонных сечений балки.

Внешняя погонная нагрузка:

$$q_{\text{вн}} = A(q_{\text{пл}} + q_{\text{п}} + q_{\text{сн}}) / l_0 = 54(0,78 + 0,017 + 0,12) / 6 = 8,25 \text{ т/м}$$

где

A — грузовая площадь балки;

l_0 — длина балки;

$q_{\text{пл}}$ — нагрузка от плиты;

$q_{\text{п}}$ — постоянная нагрузка от состава покрытия;

$q_{\text{сн}}$ — нагрузка от снега.

Нагрузка от собственного веса балки:

$$q_6 = h \cdot b \cdot \rho \cdot \gamma_f = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 2,5 \cdot 1,35 = 0,54 \text{ т/м}$$

Полная погонная нагрузка:

$$q = q_{\text{вн}} + q_{\text{с.в.}} = 8,25 + 0,54 = 8,79 \text{ т/м}$$

Перерезывающая сила от внешней нагрузки:

$$Q_{\text{вн}} = ql/2 = 8,79 \cdot 12/2 = 52,74 \text{ т}$$

Воспринимаемое бетоном сжатой зоны поперечное усилие:

$$Q_b = (1 + 0) 10,7 \cdot 40 \cdot 35^2 / 35 = 14980 \text{ кг}$$

где

$$c = h_0 = 35 \text{ см.}$$

Доля поперечной силы, воспринимаемой хомутами опорных зон балки:

$$Q_{\text{sw}} = q_{\text{sw}} c_0 = 879 \cdot 35 = 30765 \text{ кг,}$$

где $q_{\text{sw}} = R_{\text{sw}} A_{\text{sw}} / S = 2855 \cdot 2 \cdot 6,158 / 40 = 879 \text{ кг/см.}$

Поперечная сила, воспринимаемая наклонными сечениями балки:

$$Q_6 = Q_b + Q_{\text{sw}} = 14980 + 30765 = 45745 \text{ кг}$$

Поскольку $Q_{\text{вн}} \geq Q_6$ прочность наклонных сечений балки не обеспечена — необходимо усиление.

Доля перерезывающего усилия, воспринимаемого усилением:

$$Q_{\text{sw,yc}} = Q_{\text{вн}} - Q_6 = 52740 - 45745 = 6995 \text{ кг}$$

Проверка назначенных хомутов усиления — 2Ø25 А240 ($A_{\text{sw,s}} = 4,909 \text{ см}^2$, $R_{\text{sw,s}} = 1730 \text{ кг/см}^2$, $S = 100 \text{ см}$). Проверка необходимого шага хомутов усиления.

Требуемая интенсивность дополнительного армирования $q_{sw,yc} = Q_{sw,yc} / c = 6995/35 = 200 \text{ кг/см}$

Шаг дополнительных хомутов:

$$S_{тр} = R_{sw,s} A_{sw,s} \gamma_{ss} / q_{sw,yc} = 1730 \cdot 4,909 \cdot 0,85 / 200 = 36 \text{ см}$$

Принимается шаг $S_{тр} \leq 0,5 h_0 = 36 \text{ см} \sim 17,5 \text{ см}$.

Поскольку $S_{тр} = 17,5 \text{ см} \leq S = 100 \text{ см}$ шаг усиления хомутами меньше требуемого — усиление железобетонной балки стальными хомутами не обеспечена.

Для обеспечения прочности бетона по наклонной полосе между наклонными трещинами должно выполняться условие.

$$Q_{вн} \leq 0,3 \varphi_w R_b b h_0 \quad (4)$$

$$0,3 \varphi_w R_b b h_0 = 0,3 \cdot 1,3 \cdot 148 \cdot 40 \cdot 35 = 80808 \text{ кг}$$

Прочность бетона полосы между наклонными трещинами обеспечена.

По результатам поверочного расчета, выполненные ранее мероприятия по усилению и подпору конструкций являются малоэффективными и имеют ненадлежащее исполнение, не обеспечивающее конструкционную прочность и устойчивость.

Выводы и заключение

По результатам комплексного технического обследования установлено, что возникновение прогибов железобетонных деформаций металлических элементов является результатом совокупности следующих нарушений:

- проектная ошибка, из-за недопустимых величин пролета между несущими колоннами каркаса возникли прогибы в железобетонных балках. В результате этого в средней части балок сосредотачивались чрезмерные снеговые нагрузки в зимний период, в последствии повлекшие за собой прогибы и образование трещин. На основании фотоснимков кровли, полученных в ходе технического обследования, можно сделать вывод, что в зимний период времени происходит накопление снега в описываемом участке, о чем свидетельствуют следы атмосферных застоев на поверхности кровельного настила (Рисунок 2). Очертания участков атмосферных застоев на поверхности кровельного настила также совпадают с картой расположения прогибов, полученных при геодезическом контроле конструкций.
- нарушения технологии строительно-монтажных работ при устройстве кровли, что создало ненормативный и не-проектный уклон, при котором произошло накопление значительных снеговых нагрузок в зимний период.
- нарушения технологии строительно-монтажных работ в виде некорректного крепления металлических узлов (отсутствие болтов, недостатки сварных соединений), что снижает общую жесткость и устойчивость конструктивного каркаса.
- выполненные ранее усиления железобетонных балок являлись неэффективными, что подтверждено поверочным расчетом.

На основе результатов исследования разработаны рекомендации по проведению комплексного ремонтно-восстановительного вмешательства, включающего:

- Усиление критически важных конструктивных элементов путем установки дополнительных опор и стяжек;
- Замену или восстановление элементов, изготовленных из материалов с недостаточной прочностью;
- Корректировку технологического процесса ремонтных работ с обязательным соблюдением нормативных требований к подготовке оснований и монтажу конструкций.

Реализация предложенного комплекса мер позволит повысить эксплуатационную надежность и безопасность торгового центра в долгосрочной перспективе.

Таким образом, допущенные ошибки проектирования в совокупности с нарушениями технологии производства строительно-монтажных работ оказывают значительное негативное влияние на несущую способность конструкций зданий и сооружений, что требует совершенствования системы контроля качества на всех этапах проектирования и строительства.

Литература:

1. Арушанок Ю. Ю. Об ошибках проектирования строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 11.
2. Корнева Е. Р. Ошибки при проектировании зданий и сооружений // Вестник науки и образования. — 2016. — № 6(18).
3. Ключев К. А., Кузнецов А. А. Влияние дефектов конструкций и ошибок проектирования на этапах возведения монолитного каркасного здания // СтройМного. — 2017.
4. СП РК 1.04–101–2012. Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений. — Астана, 2012.
5. СП РК 1.04–102–2012. Правила оценки физического износа зданий и сооружений. — Астана, 2012.

6. Нугужинов Ж. С., Фендт Б. Э., Нэмен В. Н. Обследование и реконструкция зданий и сооружений. — Алматы: Гылым, 1998. — 210 с.
7. Марков А. И. Анализ прочности строительных конструкций. — М.: ООО «НАСТРОЙ», 2012. — 248 с.
8. Фазылбекова Р. Э., Данилов В. И. Неразрушающий контроль качества в строительстве. — М.: Инфра-М, 2012. — 192 с.

ГЕОЛОГИЯ

Гидрогеологические условия Шакшинского нефтяного месторождения

Лукина Светлана Витальевна, студент магистратуры

Научный руководитель: Мустафин Сабир Кабирович, доктор геолого-минералогических наук, профессор
Уфимский университет науки и технологий

В статье кратко охарактеризованы гидрогеологические условия Шакшинского нефтяного месторождения, находящегося в Республике Башкортостан.

Ключевые слова: Шакшинское нефтяное месторождение, гидрогеология, гидрогеологические условия, Башкортостан.

Шакшинское нефтяное месторождение расположено в Калининском районе на северо-восточной окраине г. Уфы (Республика Башкортостан).

Гидрогеологические условия Шакшинского месторождения определяются его уникальным географическим положением в пределах Уфимского полуострова — территории, ограниченной с трех сторон долинами рек Белой и Уфы (рис. 1) [1].

В гидрогеологическом отношении месторождение расположено в пределах Камско-Вятского бассейна пластовых напорных вод. Здесь в вертикальном разрезе выделяются два гидрогеологических этажа, разделенных регионально выдержанных водоупорных пород кунгурского яруса. Водоупорными породами кунгурских отложений являются плотными и выдержанными по разрезу ангидриты и доломиты иреньской свиты. Ниже кунгурских от-

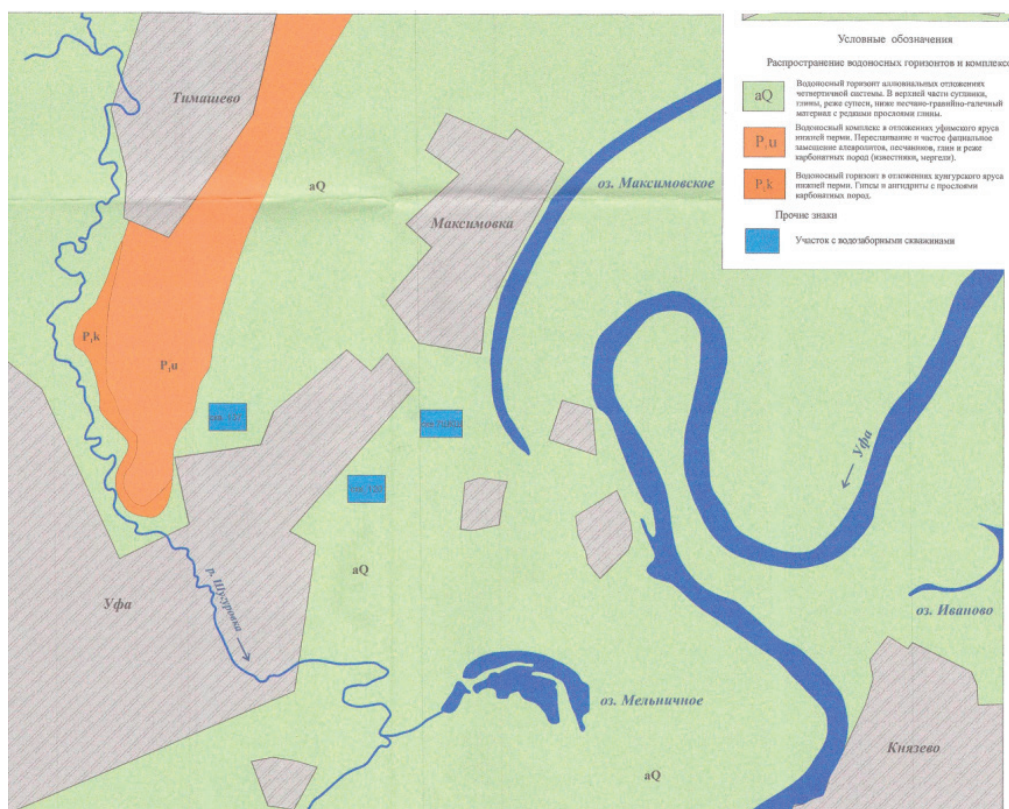


Рис. 1. Схематическая гидрогеологическая карта [3]

ложений расположен еще один региональный водоупор, представленный плотными слоистыми аргиллитами, сланцами и глинистыми известняками тимано-доманиковского горизонта верхнего девона [2].

Основная часть верхнего гидрогеологического этажа расположена в зоне активного водообмена, где формируются пресные и слабоминерализованные подземные воды. Основную роль в их питании играет инфильтрация атмосферных осадков.

Верхний гидрогеологический этаж включает в себя несколько водоносных горизонтов и комплексов:

1) Аллювиальный четвертичный долин рек и их крупных притоков. В долине р. Уфы дебиты скважин составляют 1–20 л/с при понижении 1–5 м. Водовмещающие породы представлены песчано-гравийно-галечными отложениями мощностью от 3 до 40 м. Подземные воды в основном пресные, по составу преимущественно гидрокарбонатные кальциевые.

2) Неогеновый. Мощность водосодержащих рыхлых разностей от 1–30 м, при общей мощности от 15 до 100 м и более. Обводненность рыхлых разностей различная, чаще до 1–3 л/с при понижении 10–20 м. Качество воды также различное — от пресных до солоноватых, преимущественно сульфатно-гидрокарбонатная смешанного катионного состава.

3) Верхне- и нижнеказанский подъярус, уфимский ярус. Мощность от 100 до 300. Водоносными являются трещиноватые песчаники и известняки, реже конгломераты. Обводненность пород невысокая — дебиты скважин составляют значение 1–3 л/с при понижении 10–30 м. Подземные воды меняются с гидрокарбонатных кальциевых с минерализацией до 1 г/л, до хлоридно-сульфатных кальциево-натриевых. Минерализация увеличивается до 3,5–8,3 г/л.

В нижнем гидрогеологическом этаже (нижняя пермь-верхний девон) выделяются два зональных водоупора: верхний — аргиллиты верейского горизонта, нижний — аргиллиты и плотные глинистые карбонаты тульского, бобриковского, радаевского и косьвинского горизонтов. В толще зональных водоупоров имеются проницаемые пласты, содержащие нефть или подземные минерализованные воды. Водоносными породами в карбонатных отложениях являются пористые и кавернозные известняки и доломиты, в терригенных — песчаники и в меньшей степени алевриты. Водоупорными породами являются глины, аргиллиты, плотные и глинистые известняки, доломиты. В составе нижнего гидрогеологического этажа выделяются несколько водоносных комплексов:

1) Филипповского горизонта кунгурского яруса. Воды по составу хлоридно-сульфатные натриевые с минерализацией до 15 г/л.

2) Карбонатных отложений нижней перми. Сложен пористо-кавернозными разностями. В разрезе выделяются до нескольких зон коллекторов. Воды высоконапорные. Состав вод хлоридный натриевый, минерализация 65–70 г/л.

3) Карбонатных отложений верхнего и среднего карбона. Глубина залегания кровли комплекса от 200 до 500 м. Средняя пористость проницаемых интервалов 10 %. Воды напорные. Состав вод хлоридный натриевый. Минерализация подземных вод 240–260 г/л.

4) Терригенно-карбонатных отложений среднего карбона. Воды напорные. Состав вод хлоридный натриевый. Минерализация 244 г/л. Толща верейских отложений выдержана по площади и рассматривается как зональный водоупор.

5) Карбонатных отложений среднего и нижнего карбона. Верхняя граница комплекса совпадает с кровлей башкирского яруса, нижняя проводится по кровле пород терригенного карбона. Подземные воды высоконапорные. Воды имеют хлоридный натриевый состав, минерализацию до 270 г/л. Водоносный комплекс широко используется для сброса сточных и попутно добываемых вод, а также для добычи технических вод, используемых в системе ППД (поддержание пластового давления).

6) Терригенных отложений нижнего карбона. Охватывает терригенную толщу пород визейского яруса. Распределение водоносных и водоупорных пород в комплексе весьма сложное. Коллекторские свойства песчаниково-алевролитовых пластов весьма изменчивы. Пористость изменяется от 10 до 37 %, проницаемость от 100 до 1000 мд. Воды высоконапорные. Состав вод хлоридный кальциево-натриевый. Минерализация воды 244–334 г/л.

7) Карбонатных отложений нижнего карбона и верхнего девона. Коллекторами являются известняки и доломиты. Распределение коллекторов и непроницаемых пород в разрезе комплекса весьма неравномерно. Воды высоконапорные, по составу хлоридные натриевые и кальциево-натриевые. Минерализация в турнейском ярусе 236–249 г/л, в девонских отложениях 257–336 г/л.

8) Карбонатно-терригенных отложений верхнего и среднего девона. Водоносны известняки и песчаники. Воды напорные. Состав вод хлоридный кальциево-натриевый. Минерализация 228–316 г/л.

Литература:

1. Абдрахманов Р. Ф. Гидрогеология г. Уфы / Р. Ф. Абдрахманов, В. И. Мартин. Уфа: УНЦ РАН, 1992. — 44 с.
2. Князев Ю. Г., Князева О. Ю., Сначев В. И., Жданов А. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N40 Уфа. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.
3. Переоценка запасов технических подземных вод, используемых в технологическом процессе разработки нефтяных месторождений ОАО АНК «Башнефть» НГДУ «Уфанефть», Шакшинское месторождение, Республика Башкортостан, Уфа, БашНИПИнефть, 2014.

Геохимические индикаторы трансформации дельты Печоры под влиянием природных и антропогенных факторов

Мустафин Артур Ирекович, студент магистратуры
Уфимский университет науки и технологий

В статье рассматриваются геохимические особенности дельты реки Печоры как природного барьера на границе речной и морской экосистем.

Ключевые слова: дельта Печоры, геохимические индикаторы, тяжелые металлы, донные отложения, антропогенное воздействие.

Анализ распределения химических элементов в донных отложениях дельты Печоры показывает, что средние концентрации металлов значительно ниже континентальных значений. Ряд средних содержаний элементов выглядит следующим образом: Si (30,34 %) > Al (3,83 %) > Fe (1,41 %) > Na (0,89 %) > Ca (0,51 %) > Mg (0,49 %) > Ti (0,26 %) > Ba (576 ppm) > Mn (551 ppm) > Cr (20,13 ppm) > Ni (13,59 ppm) > Pb (8,20 ppm) [2].

Медианные значения кларков концентрации всех исследованных элементов, нормированных по стандарту «верхняя континентальная кора» (UCC), заметно меньше единицы [3]. Это указывает на то, что природный геохимический фон территории не является аномальным.

Важным природным источником поступления химических элементов является выветривание пород Уральских гор, сложенных породами, обогащенными Fe, Mn, Ni, Cr, Co [1].

Согласно данным гранулометрического анализа, доля мелкого песка в донных отложениях дельты составляет 62,46 %, среднего песка — 18,48 %. Преобладание песчаных фракций имеет ключевое значение: песчаные отложения характеризуются низкой сорбционной емкостью по отношению к ионам металлов. Это является одной из основных причин того, что дельта Печоры не накапливает загрязняющие вещества [6].

Исследования торфяных почв в бассейне Печоры показывают, что они характеризуются кислой и сильно-кислой реакцией среды [5]. Кислая среда способствует повышенной миграционной способности многих металлов, препятствуя их осаждению. Низкое содержание органического вещества дополнительно ограничивает сорбцию металлов.

Помимо локальных источников, важную роль играет трансграничный перенос тяжелых металлов с промышленных предприятий Урала [2], что обуславливает фоновое техногенное загрязнение территории.

1. Анализ пространственного распределения тяжелых металлов позволяет выделить следующие закономерности:

2. Относительная однородность состава большинства элементов свидетельствует о преобладании природных источников.

3. Повышенная вариабельность Pb и Cd указывает на наличие локальных техногенных источников.

4. Отсутствие межгодовых изменений (2010–2015 гг.) свидетельствует о стабильности геохимической обстановки [3].

Ключевым результатом является вывод о том, что дельта Печоры, в отличие от большинства эстуарных систем, не выполняет функцию фильтра [2]. Несмотря на высокие концентрации тяжелых металлов в воде, их накопления в донных отложениях дельты не происходит.

Факторы, определяющие транзитную роль дельты:

- преобладание песчаных фракций с низкой сорбционной емкостью;
- кислая реакция среды, способствующая миграции металлов;
- низкое содержание органического вещества;
- высокая гидродинамическая активность.

В прибрежно-морских обстановках дельты Печоры выделяются различные фациальные типы осадков [4]. Дельта как природный литодинамический барьер функционирует избирательно: в отличие от многих дельтовых систем, печорская дельта пропускает основную массу поллютантов в морскую часть.

Специфическими геохимическими индикаторами влияния нефтегазового комплекса служат: барий (Ba) (высокие концентрации связаны с использованием баритовых утяжелителей при бурении скважин), ванадий (V) и никель (Ni), свинец (Pb) и кадмий (Cd) [4].

Добыча угля сопровождается образованием кислых дренажных вод. Геохимическими индикаторами являются: алюминий (Al) и железо (Fe) — высокие концентрации фиксируются в Печоре повсеместно [2], марганец (Mn), сера (S) (сульфаты являются одним из основных загрязнителей бассейна).

Помимо локальных источников, важную роль играет трансграничный перенос тяжелых металлов с промышленных предприятий Урала [5], что обуславливает фоновое техногенное загрязнение территории.

Оценка экологического риска свидетельствует о низком уровне загрязнения донных отложений дельты тяжелыми металлами и отсутствии признаков техногенной деградации экосистемы.

Расчет индексов загрязнения (Igeo, Cf, EF, ERI) показал низкий уровень загрязнения донных отложений дельты Печоры тяжелыми металлами и соответствующий низкий уровень экологического риска [2]. Это свидетельствует о том,

что, несмотря на интенсивное хозяйственное освоение бассейна, экосистема дельты сохраняет устойчивость.

Природные факторы определяют общий уровень содержания химических элементов в донных отложениях дельты, соответствующий средним значениям для верхней континентальной коры. Преобладание песчаных фракций, кислая реакция среды и низкое содержание органического вещества обуславливают низкую сорбционную емкость осадков.

Антропогенное воздействие, связанное с разработкой нефтегазовых месторождений и добычей угля, проявля-

ется в поступлении в экосистему тяжелых металлов. Специфическими геохимическими индикаторами являются: Ba, V, Ni, Pb, Cd (нефтегазовый комплекс) и Al, Fe, Mn, S (угольная промышленность).

Дельта Печоры не выполняет функцию фильтра. Транзитная роль дельты обусловлена комплексом природных факторов: гранулометрическим составом осадков, гидродинамическим режимом, геохимическими условиями.

Фациальная дифференциация определяет пространственную неоднородность распределения элементов.

Литература:

1. Коробова Е. М., Сурков В. В., Домбровская Е. А. Ландшафтно-геохимические индикаторы загрязнения экосистем в дельтах северных рек // Криосфера Земли. 2011. Т. 15, № 4. С. 25–29.
2. Яковлев Е., Пучков А., Мальков А., Бедрина Д. Оценка распределения тяжелых металлов и параметров экологического риска в донных отложениях эстуария реки Печоры (бассейн Северного Ледовитого океана) // Marine Pollution Bulletin. 2022. С. 182.
3. Новиков М. А., Титов О. В., Жилин А. Ю. Содержание металлов в донных отложениях центральной части Печорского моря в современный период // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 1. С. 184–196.
4. Тугарова М. А. Фациальная дифференциация минерального и органического вещества прибрежно-морских обстановок осадконакопления // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 1. С. 60–70.
5. Жангуров Е. В., Дубровский Ю. А., Дегтерева С. В., Дымов А. А. Эколого-генетические особенности формирования торфяных почв горной ландшафтной зоны Северного Урала // Лесоведение. 2017. № 2. С. 94–101.
6. Малышев Н. А., Пименов Б. А., Бушнев Д. А. и др. Тимано-Печорский нефтегазоносный бассейн: моделирование процессов нефтегазогенерации и перспективы нефтегазоносности больших глубин. Сыктывкар, 2003. 15 с.

Поисково-оценочные работы на рудопроявлении золота Бодрый (Магаданская область)

Сагитов Динар Ильшатович, студент магистратуры
Уфимский университет науки и технологий

В статье автор приводит описание поисково-оценочных работ на рудопроявлении золота Бодрый.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, пробы, горные выработки.

Геологоразведочные работы — это комплекс работ по геологической съемке, поискам месторождений полезных ископаемых, разведке месторождений и геолого-экономической оценке месторождений, по геологическому обслуживанию горнодобывающих предприятий, которые выполняют для обнаружения и подготовки к промышленному освоению месторождений полезных ископаемых.

Проведение оценочных работ на рудопроявлении Бодрый обосновывается тем, что предшествующая стадия «поисковые работы» была проведена в 2001–2004 гг. ГП «Магадангеология» за счет средств федерального бюджета.

Основными геологическими задачами проектируемых работ является:

— изучение геолого-структурных особенностей потенциально-промышленного месторождения и составление геологической карты масштаба 1:10 000;

— установление закономерностей размещения потенциально рудных тел;

— изучение геолого-структурных и морфологических особенностей прогнозируемых рудных зон, состава и распределения в них рудной минерализации, выявление потенциальных рудных тел, оценка их уровня эрозионного среза;

— создание топографо-геодезического обоснования, достаточного для подготовки оцененных объектов к проведению разведочных работ;

— предварительная оценка гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических условий разработки месторождений на основе проведенного в необходимом объеме комплекса гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и др. наблюдений, с использованием для сравнения соответствующих показателей известных и обрабатываемых в районе месторождений;

— оценка кондиционных запасов рудного золота по категории C_2 и прогнозных ресурсов по категории P_1 ;

— экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности выявленных месторождений и определение целесообразности проведения разведочных работ.

Для решения поставленных задач комплексом горных и буровых работ, а также сопутствующих видов опробования и специальных геологических исследований, планируется изучить общие параметры (как по простиранию, так и на глубину) как известных, выявленных на поисковой стадии, так и новых рудных тел, закономерности распределения промышленного оруденения по простиранию и падению, морфологию отдельных рудных тел, вещественный состав и технологические свойства руд, гидрогеологические и горнотехнические условия. Работы будут проведены с детальностью, позволяющей обеспечить оценку промышленного значения рудных объектов, с подсчетом части запасов по категории C_2 , а на менее изученных площадях подготовить и апробировать ресурсы по категории P_1 .

По итогам планируемых оценочных работ будет составлен окончательный отчет по проведенным работам с предварительной оценкой запасов рудного золота по категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 в соответствии с действующими ГОСТами, руководящими указаниями, инструкциями и методиками, предусматривается проходка поверхностных горных выработок (канал, траншеи), подлежащих детальной геологической документации.

Для расчета затрат на документацию каналов принимаются следующие условия: общая длина проектных поверхностных горных выработок (с учетом резерва) составляет 6060 м; средняя глубина 3,1 м; средняя категория пород по крепости X (ССН-93, выпуск 4, прил. 2, табл. 1 «Единая классификация пород по буримости»).

Литература:

1. Шпикерман В. И., Полуботко И. В., Васькин А. Ф. Петухов В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская Лист Р-55 (Сусуман). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016.
2. Шахтыров В. Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Шахтыров Василий Григорьевич. — Иркутск, 2010. — 50 с.
3. Константиновский А. А. Структура и геодинамика Верхоянского складчато-надвигового пояса / А. А. Константиновский // Геотектоника. — 2007. — № 5. — С. 3–22.

Документированию подлежит полотно и один из бортов канала (в траншеях документируется полотно), изучение вещественного состава вскрытых горных пород и их зарисовка в масштабе 1:100 (участки сложного строения в масштабе 1:50).

В процессе документации канала и траншеи опробуются бороздовыми пробами на всю длину. Сечение борозды стандартное — 10х3 см, длина от 0,3 до 1,5 м (в среднем 1,0 м).

В каналах пробы отбираются по полотну или по борту канала. Всего из каналов планируется отобрать 6060 бороздовых проб, с учетом геологического контроля (3 % — 180 проб) — 6240 проб. После отбора малых технологических проб будет проведено повторное бороздовое опробование в количестве 30 проб.

Общий объем бороздового опробования из каналов составит 6 270 проб.

В траншеях документируется полотно. Всего планируется пройти 3 траншеи шириной 50 м и общей длиной 135 м. Площадь документации составит 6 750 м².

Траншеи, пройденные по простиранию рудных зон (р. т.), опробуются по сечениям, расположенным вкрест простирания через 5 м. Всего из траншей планируется отобрать 1485 бороздовых проб, с учетом геологического контроля (3 % — 45 проб) — 1 530 пробы.

Отбор проб производится ручным способом.

Общее количество бороздовых проб составит 8 800 проб.

При объемном весе 2,5 г/см³ масса одной бороздовой пробы составит 7,5 кг, а общий вес бороздовых проб — 66 000 кг.

Опробование производится с учетом литологических границ и контуров геологических тел — различные литолого-петрографические разности пород, метасоматитов, жильных образований и т. д. опробуются отдельно. Документация интервалов опробования, их разметка и маркировка проб осуществляется геологом (техником-геологом).

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Маркер-ассоциированная селекция в современном рисоводстве: принципы, методы и перспективы применения

Нугманова Малика Канаткызы, студент магистратуры;

Амантай Меруерт Бисенкызы, студент магистратуры

Научный руководитель: Амирова Айгуль Кузембаевна, кандидат биологических наук, доцент
Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Научный руководитель: Усенбеков Багдаулет Наубаевич, кандидат биологических наук,
ассоциированный профессор, заведующий лабораторией;

Научный руководитель: Сартбаева Иннабат Абибуллакызы, PhD, ведущий научный сотрудник
Институт биологии и биотехнологии растений (г. Алматы, Казахстан)

Настоящая обзорная статья посвящена анализу современного состояния и перспектив применения маркер-ассоциированной селекции в рисоводстве. Обоснована актуальность проблемы повышения продовольственной безопасности в условиях роста мирового населения и изменения климата. Дана характеристика пирикулярриоза как наиболее экономически значимого заболевания риса, приводящего к потерям урожая до семидесяти-восьмидесяти процентов. Проведен сравнительный анализ традиционных методов селекции и молекулярных подходов, выявлены основные преимущества отбора по генотипу. Обобщены сведения об идентифицированных генах устойчивости к пирикулярриозу и их использовании в селекционных программах. Обсуждены существующие ограничения метода и определены перспективные направления развития, связанные с интеграцией маркер-ассоциированной селекции с геномной селекцией и технологиями редактирования генома.

Ключевые слова: маркер-ассоциированная селекция, молекулярные маркеры, пирикулярриоз, гены устойчивости, селекция риса, продовольственная безопасность.

Введение

Рис посевной (*Oryza sativa* L.) как сельскохозяйственная культура имеет очень большое значение и является важным продуктом питания для значительной части населения в мире. Эта культура входит в ежедневный рацион жителей Африки, Азии и стран Ближнего Востока. В России рис также является весьма популярным продуктом, который массово производится на юге страны [1]. Казахстан является самым северным регионом выращивания риса в мире, где данная культура возделывается преимущественно в Кызылординской и Алматинской областях. Создание сортов риса, устойчивых к холоду и пирикулярриозу, является актуальной задачей селекционной программы риса в Казахстане, поскольку в аномальные годы при длительной холодной весне до 20–30 % проростков погибают. Для поддержания и увеличения его урожайности необходимо создавать новые сорта, в том числе устойчивые к болезням и неблагоприятным условиям окружающей среды [2]. Производство риса ограничивается различными экологическими факторами, включая биотические стрессы, такие как бактериальные, вирусные

и грибковые заболевания, а также повреждения насекомыми-вредителями, и абиотические стрессы, включающие воздействие холода, засухи, засоления и затопления [3].

Глобальные вызовы продовольственной безопасности

Рис является источником пищи для большинства людей на планете. Население мира растет с каждым годом и повышение устойчивости риса к пирикулярриозу способствует повышению урожайности риса в периоды эпифитоза, что способствует устойчивому развитию сельского хозяйства и искоренению голода в соответствии с целями программы ООН. По мере роста населения мира нехватка продовольствия и скрытый голод становятся все более актуальными проблемами современности. Эффективность повышения продовольственной безопасности возможна при увеличении урожайности сельскохозяйственных культур или путем расширения площади их посевов. Однако в условиях сокращения пахотных земель, изменения климата и увеличения площадей, подверженных засолению, засухе и затоплению, особое значение

приобретают инновационные методы селекции, позволяющие создавать высокоурожайные и устойчивые к неблагоприятным факторам сорта сельскохозяйственных культур [1, 3].

Пирикулярриоз как основная угроза рисоводству

Болезни риса представляют собой один из основных лимитирующих факторов получения качественного зерна и высоких урожаев. Среди них пирикулярриозная болезнь риса, вызываемая грибом *Magnaporthe oryzae*, является одним из наиболее разрушительных заболеваний, встречающихся в производстве риса во всем мире. Потеря урожая от пирикулярриоза может составить от 70 % до 80 % [4]. Основными признаками пирикулярриоза являются пятна на листьях, стеблевом узле, семенах, метелке и листовом влагалище различной формы и окраски. Заболевание приводит к отмиранию листьев, ломке стеблей, преждевременному высушиванию метелок, щуплости зерна и гибели всходов. Возбудитель болезни сохраняется на стерне и соломе риса, а также в семенах и способен к перезимовыванию [1]. Создание и рациональное использование устойчивых сортов является наиболее эффективной и экономичной мерой контроля пирикулярриоза. Однако высокая изменчивость популяции патогена и частое появление новых вирулентных рас создают сильное селекционное давление, в результате чего устойчивые сорта часто теряют устойчивость через три-пять лет выращивания. Поэтому объединение широкой и долговременной устойчивости является ключевой задачей селекционеров риса [4].

Ограничения традиционной селекции

Создание новых сортов риса, устойчивых к стрессам, традиционными методами является трудоемким, длительным и требует больших площадей для оценки в контролируемых или полевых условиях. На создание нового сорта традиционными методами требуется около шести-семи лет, а для самоопыляющихся культур этот срок может достигать 8–10 лет. Основные ограничения традиционной селекции включают: длительность селекционного процесса, значительное влияние окружающей среды на фенотип, низкую эффективность для сложных количественных признаков, позднее проявление многих важных признаков, а также так называемый генетический груз, связанный с переносом нежелательных генов вместе с целевыми [5]. Селекция на основе фенотипа существенно зависит от условий окружающей среды. При полном доминировании невозможно отличить доминантные гомозиготы от гетерозигот и, следовательно, выбрать оптимальные индивидуумы для скрещивания в текущем поколении. Анализ ряда важных признаков растений проводится после стадии развития, на которой может быть осуществлена гибридизация, поэтому скрещивание отобранных образцов проводится уже в следующий вегетационный период [6].

Молекулярные маркеры в селекции

Роль молекулярных маркеров в современной генетике трудно переоценить. С их помощью составлены подробные молекулярные карты генома человека и десятков видов растений и животных, на которые нанесены важнейшие гены. Молекулярные маркеры широко используются в популяционной генетике, сравнительной генетике и геномике.

Молекулярные маркеры, также называемые ДНК-маркерами, представляют собой генетические маркеры, анализируемые на уровне дезоксирибонуклеиновой кислоты. ДНК-маркеры являются третьим поколением генетических маркеров, им предшествовали белковые маркеры, а еще ранее — классические генетические маркеры [6].

Развитие молекулярных маркеров прошло несколько этапов. В 1980-е годы появились маркеры RFLP на основе полиморфизма длины рестрикционных фрагментов. В 1990-е годы получили распространение маркеры на основе полимеразной цепной реакции, включая RAPD, SSR и AFLP. С двухтысячных годов и по настоящее время наиболее широко используются маркеры SNP на основе однонуклеотидных полиморфизмов [5].

Среди основных типов маркеров микросателлитные маркеры SSR обладают высокой полиморфностью, кодоминантностью и широко распространены в геномах различных организмов. Однонуклеотидные полиморфизмы SNP являются наиболее распространенными в современных генетических исследованиях благодаря высокой точности детекции, стабильности результатов и возможности полной автоматизации анализа [6].

Принципы маркер-ассоциированной селекции

Маркер-ассоциированная селекция представляет собой современный подход в селекции растений, позволяющий отслеживать гены или участки генома, связанные с желаемыми признаками, с помощью ДНК-маркеров. В отличие от традиционной селекции, основанной на фенотипе, маркер-ассоциированная селекция позволяет проводить косвенный отбор по генотипу, повышая эффективность, точность и скорость создания сортов. Эффективность маркер-ассоциированной селекции зависит от связи маркера с признаком, генетической сцепленности и частоты рекомбинации. Маркер-ассоциированная селекция представляет собой косвенный отбор, где маркер выступает индикатором гена. Для эффективного применения необходимо, чтобы маркер и ген находились рядом на расстоянии менее пяти сантиморганов, а связь между ними была статистически подтверждена.

Различают прямые маркеры, расположенные внутри гена, и косвенные маркеры, расположенные рядом с геном. Использование внутригенного маркера позволяет отбирать нужные генотипы с наиболее высокой точностью. Большая точность отбора также достигается при использовании пары маркеров, расположенных вблизи гена по разные стороны от него, то есть маркеров, фланкирующих

целевой ген. Требования к маркерам для эффективного применения в селекции включают: высокую полиморфность, тесную связь с геном, кодоминантность, воспроизводимость результатов, доступность и низкую стоимость, а также высокую пропускную способность анализа [5].

Преимущества маркер-ассоциированной селекции

С помощью молекулярных маркеров можно проводить отбор по генотипу, что имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с отбором по фенотипу. Процесс генотипирования может быть полностью или частично автоматизирован, тогда как методы автоматического фенотипирования развиваются очень медленно. Образцы для генотипирования можно отобрать практически в любой удобный момент, тогда как анализ проявления того или иного признака осуществляется на строго определенной стадии развития организма. Отбор проб для выделения ДНК на ранних стадиях развития позволяет своевременно изымать из селекционного процесса значительное количество материала, не потратив на анализ и уход за ним лишних средств. Генотип не зависит от изменения условий среды, тогда как на результаты фенотипирования влияют различные факторы окружающей среды. С помощью ДНК-маркеров можно отличить доминантные гомозиготы от гетерозигот, что невозможно при фенотипическом анализе в случае полного доминирования. При использовании ДНК-маркеров можно подобрать подходящие пары и осуществить гибридизацию в текущем поколении, что существенно ускоряет селекционный процесс [6].

Стратегии маркер-ассоциированной селекции

Метод маркер-ассоциированной селекции хорошо рекомендовал себя при беккроссной и линейной селекции, а также при создании пирамид генов. Выделяют несколько основных стратегий применения данного метода [5].

Маркер-ассоциированное обратное скрещивание используется для переноса одного или нескольких генов от донора к реципиенту. При беккроссной селекции можно вести отбор по внутригеному маркеру, по маркерам, тесно сцепленным с геном, по генетическому фону, а также комбинировать различные подходы. Использование маркеров, равномерно распределенных по геному, позволяет не только контролировать передачу целевого гена от донора реципиенту, но и ускорять восстановление генома реципиента. Рекуррентный отбор применяется для сложных признаков, контролируемых множеством генов. Данная стратегия предполагает накопление полезных аллелей через несколько циклов скрещивания и отбора [5,6].

Применение маркер-ассоциированной селекции в рисоводстве

Для создания современных высокоурожайных сортов риса с высоким качеством зерна необходимо использо-

вание методов молекулярной биологии. Анализ на основе полимеразной цепной реакции в селекционном процессе позволяет ускорить процесс отбора форм с желаемыми генами, проводить подбор подходящих родительских форм, детектировать перенос целевых генов в селекционный материал [1].

На сегодняшний день выявлено более ста генов или локусов устойчивости к пирикулярриозу риса. Гены устойчивости распределены по одиннадцати хромосомам генома риса, при этом более шестидесяти четырех процентов локализованы на хромосомах шесть, одиннадцать и двенадцать. Успешно клонирован тридцать один ген устойчивости, включая такие гены как *Pi1*, *Pi2*, *Pi9*, *Pi54*, *Pigm* и *Piz-t* [4].

Применение ДНК-маркеров для поиска источников и доноров эффективных генов устойчивости является своевременной задачей при создании устойчивых к пирикулярриозу сортов риса. Идентификация аллелей генов устойчивости, таких как *Pi-1*, *Pi-2*, *Pi-33*, *Pi-40*, *Pi-ta* и *Pi-b*, у селекционных образцов риса методами маркер-ассоциированной селекции позволяет выявлять желаемые генотипы [1].

Среди наиболее изученных генов, связанных с устойчивостью к абиотическим стрессам, можно выделить гены солеустойчивости *Saltol*, локусы количественных признаков, ответственные за засухоустойчивость, и ген *Sub1*, обеспечивающий устойчивость к затоплению [3].

Проблемы и ограничения метода

Существуют определенные ограничения в применении маркер-ассоциированной селекции. К ним относятся относительно высокие начальные затраты на разработку и валидацию маркеров, ограниченная доступность маркеров для некоторых признаков и культур, сложность работы с полигенными признаками, а также необходимость привлечения квалифицированных специалистов [5]. В селекции устойчивости к пирикулярриозу существуют три основные проблемы: наличие небольшого числа генов, которые обеспечивают устойчивость как к листовой стадии болезни, так и к поражению метелки; непредсказуемость эффекта устойчивости у линий с пирамидированными генами; а также то, что лишь небольшое количество генов устойчивости было успешно использовано в молекулярной селекции [4].

Повышение устойчивости риса к пирикулярриозу путем пирамидирования генов

Пирамидирование генов представляет собой объединение нескольких генов устойчивости в одном генотипе. Эта стратегия широко применяется для создания устойчивости к болезням и стрессоустойчивости. Создание высокопродуктивных сортов и линий риса являются важнейшей тактикой для удовлетворения растущего спроса на данную культуру, особенно в свете постоянно растущего

населения мира и трудностей производства достаточного количества продовольствия на небольшом участке пахотной земли. Информации о создании перспективных пирамидальных линий [7] и сортов [8], которые могут способствовать глобальной продовольственной безопасности, обеспечивая высокую устойчивость к воздействию грибных инфекции и сохранение продуктивности. Однако эффект устойчивости у линий с пирамидированными генами не всегда является результатом простого суммирования спектра устойчивости отдельных генов. Это объясняется сложными взаимодействиями между генами, включая эпистатические эффекты, при которых один ген может подавлять или модифицировать действие другого, что требует тщательного подбора комбинаций генов для достижения максимальной и стабильной устойчивости [4, 5].

Перспективы развития

Благодаря преимуществам отбора по генотипу применение молекулярных маркеров стало неотъемлемой частью селекционного процесса во многих странах мира. Предложены новые стратегии использования генов устойчивости в молекулярной селекции, такие как точное понимание использования генов в основных современных сортах, создание базового устойчивого генетического материала с превосходными комплексными признаками, отбор и использование комбинаций генов с широким спектром устойчивости и долгосрочной защите [4]. Будущее маркер-ассоциированной селекции связано с геномной селекцией, с использованием технологий редактирования генома, таких как CRISPR, применением полногеномного ассоциативного анализа для выявления

новых генов, а также с высокопроизводительным фенотипированием [4, 5].

Заключение

Маркер-ассоциированная селекция представляет собой ключевую технологию современной селекции растений, которая существенно трансформировала подходы к созданию новых сортов сельскохозяйственных культур. Данный метод позволяет проводить точный и эффективный отбор желаемых признаков с использованием ДНК-маркеров, преодолевая основные ограничения традиционного фенотипического отбора.

Применение маркер-ассоциированной селекции в растениеводстве демонстрирует высокую эффективность при создании сортов, устойчивых к пирикулярриозу и другим биотическим и абиотическим стрессам [2]. Идентификация и использование генов устойчивости с помощью молекулярных маркеров позволяет значительно ускорить селекционный процесс и повысить точность отбора желаемых генотипов.

Несмотря на существующие ограничения, связанные с высокими начальными затратами и сложностью работы с полигенными признаками, маркер-ассоциированная селекция продолжает развиваться и интегрироваться с новыми технологиями. Сочетание данного метода с геномной селекцией, технологиями редактирования генома и высокопроизводительным фенотипированием открывает новые перспективы для создания высокоурожайных, качественных и устойчивых к неблагоприятным факторам сортов риса, что имеет критическое значение для обеспечения продовольственной безопасности в условиях роста населения планеты и изменения климата.

Литература:

1. Шумская О. В., Вожжова Н. Н., Жогалева О. С., Дубина А. Ю., Костылев П. И. Идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу риса Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-40, Pi-ta, Pi-b. *Зерновое хозяйство России*. 2023;(5):30–38. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-88-5-30-38>
2. Amirova, A., Usenbekov, B., Berkimbay, K., Mynbayeva, D., Atabayeva, S., Baiseitova, G., Meldebekova, A., Zhunusbayeva, Z., Kenzhebayeva, S., & Mukhambetzhonov, S. Selection of rice breeding lines for resistance to biotic and abiotic stresses. *Brazilian journal of biology = Revista brasileira de biologia* vol. 84 e282495. 13 May. 2024, DOI: 10.1590/1519-6984.282495
3. Emon, R. M. Molecular markers, marker assisted selection for rice in relation to biotic and abiotic stress. *Discov Agric* 3, 102 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00265-w>
4. Ning X., Wu Y., Li A. Strategy for Use of Rice Blast Resistance Genes in Rice Molecular Breeding. *Rice Science*. 2020;27(4):263–277. DOI: 10.1016/j.rsci.2020.05.003
5. Kumar A., Kumar B., Kumari P., Saket K. Marker-Assisted Selection (MAS). *Principles of Quantitative and Biometrical Genetics*. 2025:137–151
6. Хлесткина Е. К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013;17(4/2):1044–1054.
7. Mynbayeva, D., Amirova, A., Usenbekov, B., Dubina, E., Sartbayeva, I., Zhunusbayeva, Z., Yrgynbayeva, S., Kuatbayev, A., & Zeinalov, Z. "Enhancing Rice Blast Resistance through Gene Pyramiding and Marker-Assisted Selection: Implications for Sustainable Agriculture and Environmental Impact." *ES Energy & Environment*, vol. 26, 2024, p. 1349. DOI: 10.30919/eseel349
8. E. Dubina, P. Kostylev, M. Ruban, S. Lesnyak, E. Krasnova, K. Azarin, Rice breeding in Russia using genetic markers, *Plants*, 2020, 9, 1580, DOI: 10.3390/plants9111580

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 14 (617) / 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 15.04.2026. Дата выхода в свет: 22.04.2026.

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.