

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



16+

17 2026  
ЧАСТЬ II

# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 17 (620) / 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 Фридрих Фрёбель (1782–1852), немецкий педагог.

Фридрих Вильгельм Август Фрёбель родился в деревне Обервайсбах в Тюрингии. Он рано лишился матери и был отдан на воспитание своему дяде, лютеранскому пастору. После окончания школы Фридрих изучал естественные науки и математику в Йенском университете, а потом увлекся идеями швейцарца Иоганна Генриха Песталоцци, который писал научные труды о развивающем обучении детей и основал в городе Ивердон собственную школу. Фрёбель устроился туда учителем и провел в школе Песталоцци два года. После этого, получив небольшое наследство, он завершил свое образование в университетах Геттингена и Берлина.

Молодой преподаватель мечтал о собственном экспериментальном учебном заведении и говорил о нем с такой страстью и таким энтузиазмом, что сумел привлечь к его созданию всю семью и ближайшее окружение. В 1817 году он открыл школу в Кейльгау, небольшой деревне в княжестве Шварцбург-Рудольштадт. Здание было куплено на средства вдовы его брата, первыми учителями стали его бывшие однокурсники, а первыми учениками — родные племянники. Все приданое отдала школе Фрёбеля и его состоятельная невеста, на которой он женился спустя год после основания заведения.

К 1826 году в школе числилось уже 60 воспитанников. Родители учеников отзывались о ней благосклонно, а сам Фридрих Фрёбель объединил свою теорию и практические наблюдения в литературном труде «О воспитании человека» (*Die Menschengliederung*), который до сих пор цитируется в книгах по педагогике. Однако прогрессивные идеи, как это часто случается в истории, тут же нашли своих противников. Не без помощи местных священников были пущены слухи о том, что в учебном заведении насаждается атеизм и прочие «вредные и преступные мысли». И хотя посланный высшим начальством ревизор все обвинения опроверг, школа растеряла почти всех учеников и была закрыта.

На протяжении следующих 14 лет педагога преследовали неудачи. Он пытался создать новое заведение в Швейцарии, но и там столкнулся с нападками духовенства, которое отстаивало права и методику церковных школ. Он пытался донести свои идеи до высшего света и прочитал в Дрездене лекцию в присутствии королевы Саксонии, известной своей благотворительной деятельностью, но его не услышали. В итоге Фрёбель возглавил приют для сирот в швейцарском Бургдорфе. Там он впервые увидел десятки маленьких детей, лишенных родительского тепла. Из Бургдорфа Фридрих Фрёбель вернулся в Германию в твердой уверенности, что отныне будет заниматься только дошкольным воспитанием. До этого в его школах учились и малыши, и подростки.

В 1840 году в тюрингском Бад-Бланкенбурге появился первый в мире Kindergarten, в буквальном переводе с не-

мецкого «детский сад». По натуре Фрёбель был романтиком и идеалистом, последователем философии Фихте и Гегеля, и детей он действительно считал «цветами жизни»: «Малыши подобны растениям. Всем им нужен уход и защита. Каждый из них прекрасен сам по себе, но по-настоящему расцветает только в окружении своих сверстников».

Согласно теории Фрёбеля, детям до семи лет не нужно ходить в обычную школу. Их развитием и воспитанием должны заниматься специальные учреждения, основанные по принципу большой семьи: все воспитанники — братья и сестры, а их «садовница» (*Gärtnerin*), или воспитательница, — ласковая и всегда готовая прийти на помощь мама. Главными принципами провозглашались любовь и терпение, телесные наказания отменялись (последний пункт вызвал негодование в строгой, ориентированной на армейскую дисциплину Пруссии, что привело к десятилетнему запрету на «киндергартены»). Плата за детский садик была небольшой, так что его посещение могли позволить себе даже бедные горожане, при этом детей кормили три раза в день горячей пищей — роскошь, которая не всегда выпадала в те времена и на долю взрослых.

Педагог считал, что начинать раскрытие детской индивидуальности, природных особенностей и талантов каждого малыша надо с самого раннего возраста. Детский сад в его представлении был не «инкубатором», где растут одинаково идеальных младенцев, а местом, которое формирует уникальную, неповторимую и гармоничную личность. Основной методикой стали игры: Фрёбель придумал шесть «даров» для маленьких детей, которые, по его мнению, развивают все органы чувств, а также движение, мышление и речь. Первый «дар» — разноцветные мячи, остальные пять — разновидности того, что сейчас называют развивающим конструктором: это различающиеся по форме и размеру деревянные фигуры, из которых можно складывать сложные композиции.

Что касается ребят постарше, в детском саду Фрёбеля они занимались другой творческой активностью: лепили из глины, вырезали из бумаги, раскрашивали картинки, ставили простенькие пьески, ухаживали за цветами. Педагог выпустил два поэтических сборника, рекомендованных его «садовницам»: «Материнские и ласкательные песни» и «Сто песен к играм в мяч».

Слава детского сада в Бад-Бланкенбурге вышла далеко за пределы Германии. У Фрёбеля появились последователи по всему миру, его стали приглашать к себе князья и герцоги, простые учителя мечтали побывать на его лекциях.

Сам он по странной иронии судьбы так и не стал отцом: оба его брака были бездетными. Немецкий педагог-новатор скончался в 1852 году в возрасте 70 лет.

*Информацию собрала ответственный редактор  
Екатерина Осянина*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Айдагулов Р. А.**

Применение нейросетевых моделей для предсказания продуктов процесса парового риформинга .....79

#### **Бочарников В. В.**

Оценка риска аварий при производстве растительного масла с помощью дерева отказов и дерева событий в филиале «Маслоэкстракционный завод Юг Руси Ростов» .....85

#### **Ван Цзинлун**

Управление системой измерения и контроля качества нефти с использованием систем усовершенствованного управления технологическими процессами .....96

#### **Вистелиус С. С.**

История развития аэрофотосъемки и беспилотных воздушных судов ..... 100

#### **Вистелиус С. С.**

Применение беспилотных воздушных судов для инвентаризации неучтённых объектов капитального строительства ..... 102

#### **Говязова С. А., Тарасова А. С., Бурыкина М. М.**

Нейрокогнитивные детерминаторы эффективного восприятия сигналов оператором в условиях внезапной аварийной ситуации на производстве ..... 104

#### **Жаналин М. С., Мельников К. С.**

Военно-транспортная авиация иностранных государств ..... 108

#### **Казаков К. А.**

Совершенствование технологий штукатурных работ..... 110

#### **Лукин А. А.**

Микропластик в молочных продуктах: источники, аналитические вызовы и потенциальные риски для здоровья ..... 112

#### **Лукин А. А.**

Оценка загрязнения микропластиком молочной продукции: методы, показатели и риски для здоровья ..... 114

#### **Микаелян К. Э.**

Прогнозирование отказов механических систем с помощью искусственного интеллекта ..... 116

#### **Нефедов В. С.**

Негативное влияние повышенной температуры на изоляцию элементов возбудителей электрических генераторов и применение геотермальных ресурсов для повышения эффективности охлаждения технологического оборудования АЭС ..... 119

#### **Сазаева А. В., Айткулова А. А.**

Современные технологии обработки материалов: от субтрактивных методов к интеллектуальному производству ..... 121

#### **Степухов Е. М.**

Анализ современных подходов к автоматизации исследования структуры и фазового состава жаропрочных никелевых сплавов ..... 122

### АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

#### **Абайдуллин Д. Р.**

Продольные трещины в многопустотных плитах перекрытия, изготавливаемых на линии безопалубочного формования, и способы устранения ..... 126

#### **Вахрушева Н. А.**

Испытание железобетонных многопустотных плит перекрытия, изготовленных на линии безопалубочного формования ..... 128

#### **Воробьева М. А.**

Методология и инструменты цифрового экологического контроля ..... 130

#### **Казанов А. В.**

Мосты в ЖК «Ривер Парк» в Нагатинском затоне как линейные доминанты срединного пояса Москвы ..... 134

**Меирханова Б. Ш., Лещенко Н. В.**

Интеграция солнечных тепловых  
коллекторов в системы теплоснабжения  
жилых зданий с переменной нагрузкой..... 140

**Шибеев Я. А.**

Методы расчета плит перекрытий  
на продавливание с учетом усиления  
композитными материалами в расчетной  
программе SCAD ..... 143

**ГЕОЛОГИЯ****Абдуллаева Г. С., Хасанова Э. Р.**

Оценка эффективности методов интеграции  
производственных мощностей на морских  
месторождениях ..... 147

**Кадрметов Д. Р.**

Этапы гранитоидного магматизма на Урале .... 152

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Применение нейросетевых моделей для предсказания продуктов процесса парового риформинга

Айдагулов Радик Айратович, аспирант  
Уфимский государственный нефтяной технический университет

*Паровой риформинг как технологический процесс на сегодняшний день является наиболее приоритетным процессом получения синтез-газа и водорода, в частности. Главным показателем высокой эффективности и селективности процесса является правильно подобранный катализатор, в особенности его форма и компонентный состав. С быстроразвивающимися цифровыми технологиями, в особенности такой технология как искусственного интеллекта, решение этой задачи может быть сведено к эффективному оперированию входными данными.*

*Особое внимание уделяется разработке нейросетевых моделей для прогнозирования свойств материалов и каталитической активности. Уже на сегодняшний день существует множество проектов, реализующие модели искусственного интеллекта, способных не только к предсказыванию свойств технологических процессов и их продуктов, но и катализаторов, увеличивающих скорость и эффективность химических реакций. Но создание таких моделей требует большого количества данных, расчетов и времени.*

*В данной работе рассматривается алгоритм создания нейросетевой модели, предназначенной для предсказания состава продуктов процесса парового риформинга. Модель базируется на математических зависимостях, полученных из открытых верифицированных источников. Проведенное исследование закладывает основу для создания более сложных систем оптимизации каталитических процессов.*

**Ключевые слова:** машинное обучение, нейронные сети, паровой риформинг, математическое моделирование, прогнозирование технологических процессов.

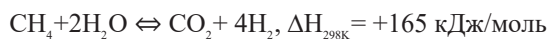
Паровой риформинг метана на сегодняшний день является доминирующим методом производства водорода, обеспечивающим более 60 % мирового объема его выработки [1]. В сочетании с технологиями улавливания углерода данный процесс позволяет получать так называемый «голубой» водород, который по экологическим показателям уступает лишь «зеленому», производимому методом электролиза [1], [2]. Высокая востребованность водородсодержащих технологий, особенно в транспортном секторе, подтверждает долгосрочную актуальность риформинга [3]. Тем не менее, метод сохраняет ряд критических недостатков: высокую энергоемкость, потребность в дорогостоящем оборудовании, неполную конверсию метана (около 75 %) и значительные выбросы  $\text{CO}_2$  [4], [5]. Эксплуатационные сложности, такие как быстрая деградация катализаторов, риск коксования реакционных трубок и высокотемпературная коррозия, требуют поиска новых подходов к оптимизации [6]. Решением этих задач сегодня выступают цифровые технологии, в частности методы искусственного интеллекта и машинного обучения.

Нейронные сети обладают широким спектром применения, однако в контексте данного исследования ключевой интерес представляет их способность обрабатывать массивы данных для прогнозирования технологических параметров, а также генерация синтетических выборок на основе систем математических уравнений и физико-химического описания процессов [7]. Данная технология уже применяется для предсказания состава продуктов химических реакций и оптимизации катализаторов [8], [9]. Исследования могут базироваться на верифицированных массивах, таких как Open Reaction Database [10], доступ к которым осуществляется через API-интерфейсы [11]. Использование подобных ресурсов значительно ускоряет разработку новых материалов. В случае отсутствия доступа к готовым базам, исследователь вынужден самостоятельно формировать обучающие выборки, что является более трудозатратным методом.

Данная работа посвящена разработке нейросетевой архитектуры для прогнозирования выхода продуктов парового риформинга. Моделирование реализовано на языке Python в среде Visual Studio Code. Для манипуляций с массивами данных использовалась библиотека numpy, для реализации алгоритмов машинного обучения — scipy и scikit-learn, а для визуализации результатов — matplotlib.

Автоматизация изучения химических процессов требует учета строгих физико-химических зависимостей. Однако решение такой задачи в рамках единой модели затруднено из-за риска возникновения аномалий и избыточного потребления вычислительных ресурсов. Для создания адекватной системы прогнозирования целесообразно использовать декомпозицию: разделение общей задачи на специализированные подмодели, отвечающие за конкретные функции, такие как расчет энергии Гиббса [12] или определение состава продуктов по известным кинетическим уравнениям [13]. В рамках данной работы будет представлен процесс создания нейросетевой модели, способной предсказывать продукты реакции парового риформинга.

Процесс парового риформинга проходит при температуре от 700 до 1000 °С и давлении от 1,5 до 2 МПа в присутствии никелевых катализаторов [14], [15]. Согласно источникам [16], [17] паровой риформинг в присутствии 18 % масс. NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> катализатора проходит по следующему механизму:



где  $\Delta H_{298\text{K}}$  — стандартная энтальпия реакции.

Скорости химической реакции в таком случае принимают следующий вид:

$$R_1 = \frac{k_1}{p_{\text{H}_2}^{2,5}} \left( p_{\text{CH}_4} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}} - \frac{p_{\text{H}_2}^3 \cdot p_{\text{CO}_2}}{K_I} \right) \cdot \left( \frac{1}{\Omega^2} \right)$$

$$R_2 = \frac{k_3}{p_{\text{H}_2}} \left( p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}} - \frac{p_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{CO}_2}}{K_{II}} \right) \cdot \left( \frac{1}{\Omega^2} \right)$$

$$R_3 = \frac{k_3}{p_{\text{H}_2}^{3,5}} \left( p_{\text{CH}_4} \cdot p_{\text{H}_2\text{O}}^2 - \frac{p_{\text{H}_2}^4 \cdot p_{\text{CO}_2}}{K_{III}} \right) \cdot \left( \frac{1}{\Omega^2} \right)$$

$$\text{где } \Omega = 1 + K_{\text{CO}} \cdot p_{\text{CO}} - K_{\text{H}_2} \cdot p_{\text{H}_2} + K_{\text{CH}_4} \cdot p_{\text{CH}_4} + K_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2}};$$

$$K_I = \exp \left( \frac{-26830}{T_S} + 30,114 \right);$$

$$K_{II} = \exp \left( \frac{4400}{T_S} - 4,036 \right);$$

$$K_{III} = K_I \cdot K_{II};$$

$$k_j = k_{0j} \cdot \exp \left( \frac{-E_j}{R_g T} \right);$$

$$K_i = K_{0i} \cdot \exp \left( \frac{-\Delta H_i}{R_g T} \right);$$

$\Delta H_i$  — теплота адсорбции i-о компонента;

$k_j$  — кинетическая константа скорости реакции j;

$k_{0j}$  — Температурно-зависимая кинетическая константа скорости реакции j;

$K_i$  — Константа адсорбции i-о компонента;

$K_{0i}$  — Эталонная константа адсорбции i-о вещества;

$p_i$  — Парциальное давление i-о вещества, бар.

На основе представленных математических уравнений, описывающих процесс парового риформинга, будет выполнено обучение нейросетей модели для предсказания продуктов реакции в присутствии 18 % никелевого катализатора. Но для полноценной проверки, необходимо привести проверочный расчет алгоритма. В качестве эталонных значений примем полученные результаты при условиях 850 °С и 2,0 МПа, сравним реалистичность данного расчета с информацией из открытых источников, после чего будет приниматься решение об адекватности данного алгоритма и насколько будет верным решением обучать нейросеть на основе данных математических зависимостей. Полученные результаты выполненного расчета представим на рисунках 1 и 2.

Как мы видим по графику, степень конверсия метана при заданных условиях достигает приблизительно 83,37 %, что находится в рамках возможного, что доказывается такими работами, как [13], [16], [17], [18]. Таким образом, можно считать работу данной модели адекватной и на основе неё можем выполнять обучение нейронной сети.

По созданной нами математической модели выполним расчет с перебором входных данных, как температура и давление. В итоге был собран массив данных, состоящий из 15000 экземпляров, с включенными данными по температуре, давлению и компонентному составу сырья и продуктов. Разделим полученную базу данных на 80 % обучающую выборку и 20 % тренировочную.



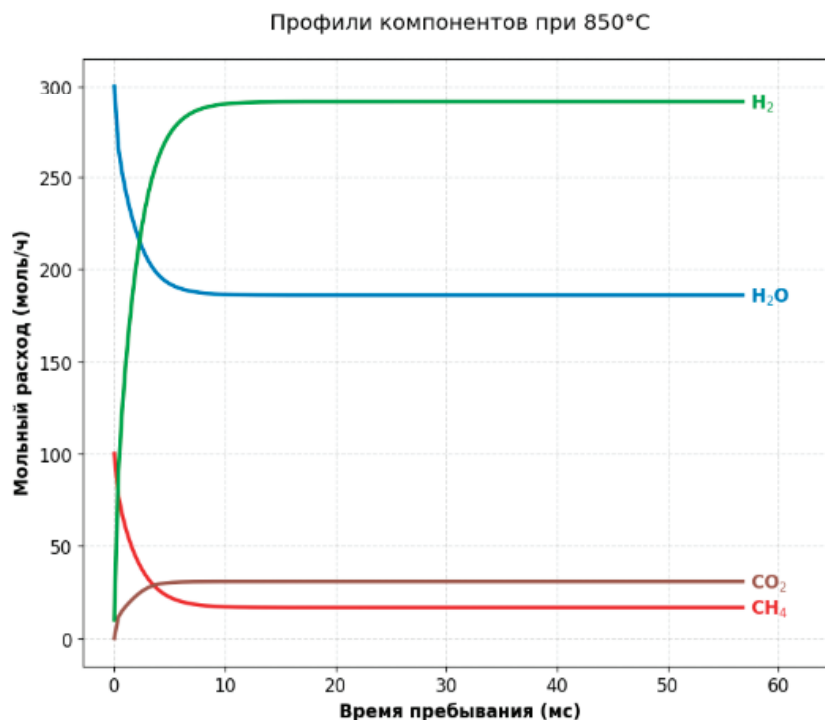


Рис. 1. Расчет процесса парового риформинга при 850 °С и 2,0 МПа

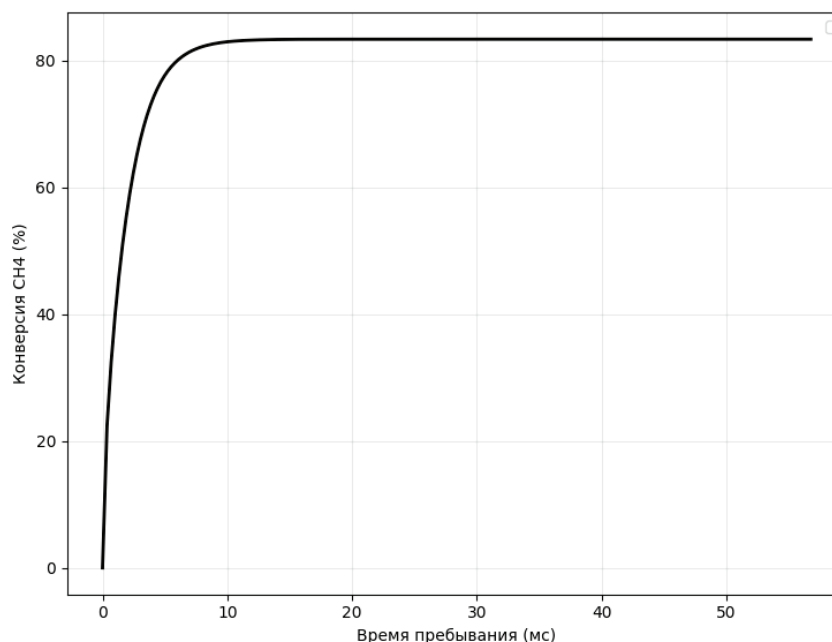


Рис. 2. Процесс конверсии метана при 850 °С и 2,0 МПа

Архитектура нейросетевой модели создана из слоев по типу Linear и ReLU. Графическая визуализация архитектуры модели представим на рисунке 3.

Ввиду ограниченного объема выборки, для предотвращения переобучения была проведена оптимизация гиперпараметров. Экспериментальным путем было определено 50 эпох обучения как оптимальная точка достижения баланса между точностью и обобщающей способностью модели. На рисунке 4 представим процесс обучения нейросетевой модели. На рисунках 5, 6, 7, 8 представим отдельные графики обучения нейронной сети по компонентам.

Как видно из рисунка 4, процесс обучения протекал стабильно; при этом признаки переобучения отсутствуют. Согласно представленным на рисунках 5, 6, 7, 8 результатам, прогнозируемые нейросетью значения располагаются в непосредственной близости от линии идеального соответствия, демонстрируя высокую точность предсказания с учетом допустимой погрешности

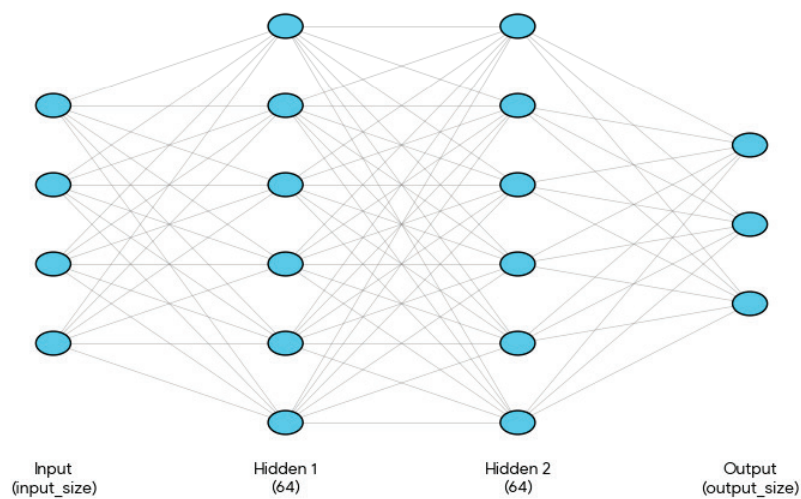


Рис. 3. Графическое представление архитектуры нейросетевой модели

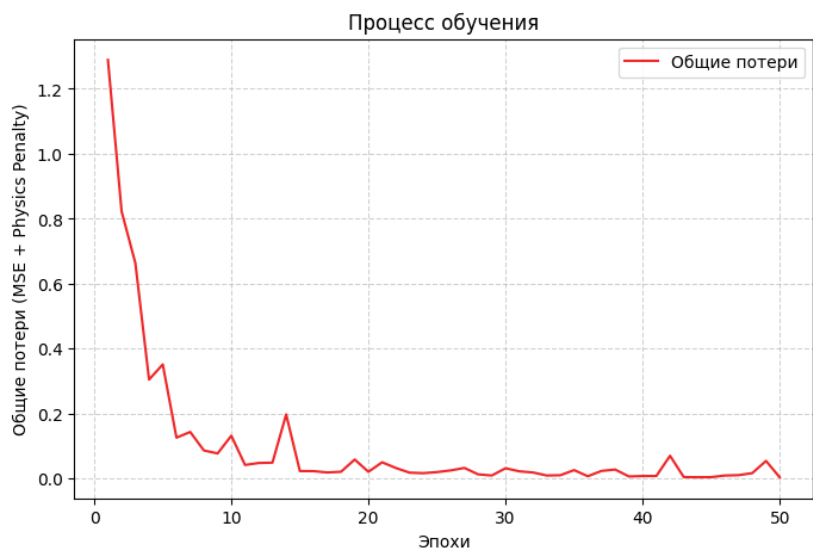


Рис. 4. Процесс обучения нейросетевой модели

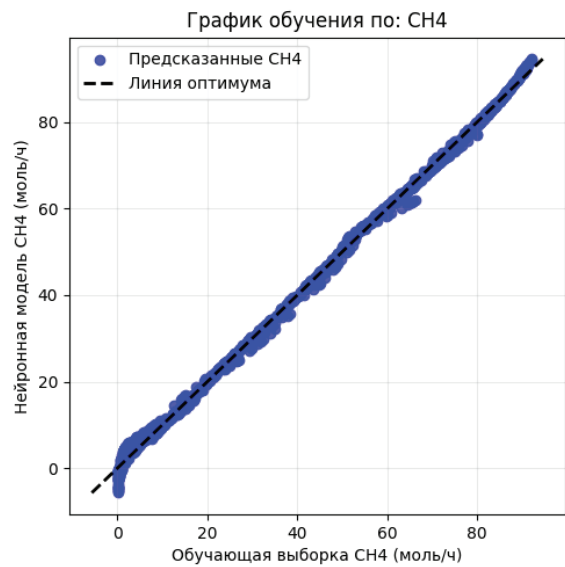


Рис. 5. График обучения по компоненту CH4

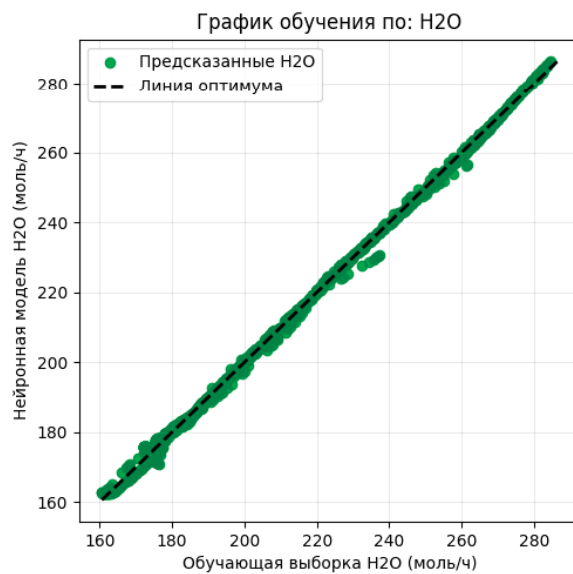


Рис. 6. График обучения по компоненту H2O

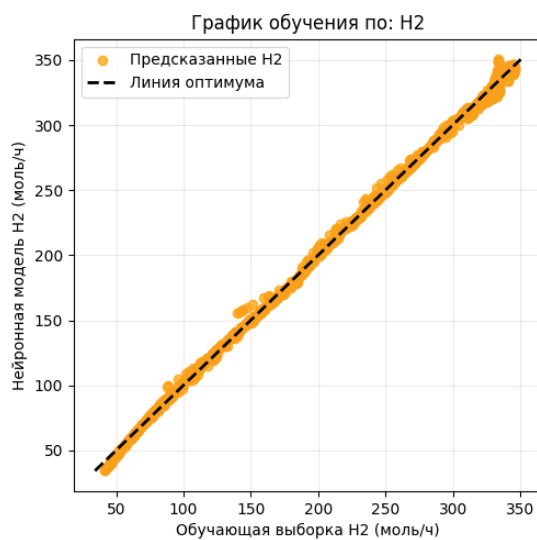


Рис. 7. График обучения по компоненту H2

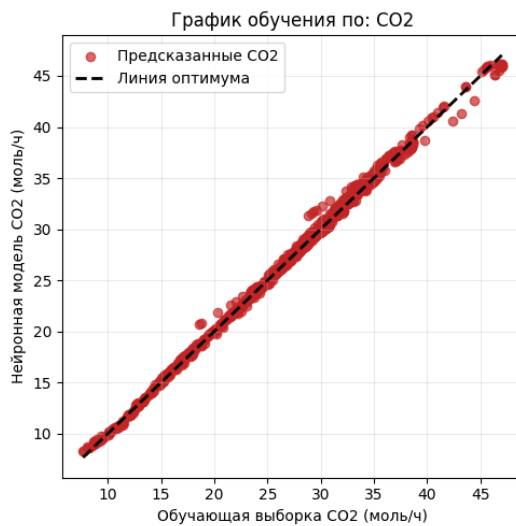


Рис. 8. График обучения по компоненту CO2

Для проверки адекватности работы нейросетевой модели, сравним ранее полученный результат итоговой конверсии метана при температуре 850 °С и 2,0 МПа и предсказанием нейросетевой модели.

По итогам проверки, нейросетевая модель предсказала степень конверсии метана равной 83,38 %. Таким образом, точность прогнозирования нейросетевой модели достигает практически 100 %. Столь высокий показатель объясняется текущей структурой базы данных, которая характеризуется отсутствием случайных шумов и базируется на четко определенных математических зависимостях физико-химического процесса. На данный момент, алгоритм создания нейронной сети можно представить согласно рисунку 9.

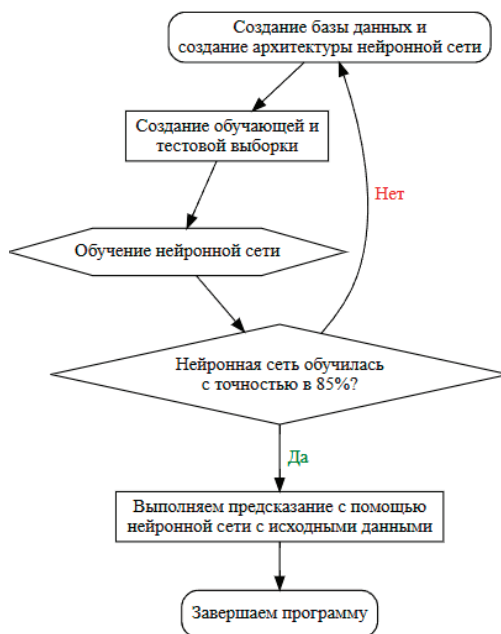


Рис. 9. Блок-схема создания нейронной сети

## Вывод

Таким образом была создана нейросетевая модель, способная предсказывать продукты процесса парового риформинга в присутствии 18 %масс.  $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  катализатора. Для улучшения нейросетевой модели необходимо расширять каталог катализаторов, добавлять новые зависимые переменные, влияющие на процесс парового риформинга, помимо температуры и давления. В дальнейшем при достаточном уровне обучения нейросетевой модели, предполагается возможность предсказывать продукты и их свойства с вводом произвольного компонентного состава катализатора, с учетом их физико-химических свойств.

Такие нейросетевые модели могут использоваться не только в рамках оптимизационных задач, но также в рамках разработки новых процессов, с условием того, что модель способна анализировать, рассчитывать и проверять протекание химических процессов с учетом модифицированного катализатора и варьируемых условий проведения химического процесса, что позволяет снизить как финансовые издержки, так и временные затраты на этапе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Также, данные нейросети могут использоваться в промышленности для автоматического управления процессом с учетом входных данных, как компонентный состав, температура и давления сырья для поддержания стабильного качества продукта. Таким образом, разработанные модели могут быть внедрены как в лабораторную практику, так и в промышленный сектор для комплексной оптимизации, автоматизации и интенсификации технологических процессов

## Литература:

1. Министерская конференция по чистой энергии, Глобальный обзор по водороду — 2025.
2. Классификация водорода по цвету [Электронный ресурс] — URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/672526-klassifikatsiya-vod-oroda-po-tsvetu/> (Дата обращения 19.04.2026).
3. Исмаев, Ж. Ф. Водород — топливо будущего / Ж. Ф. Исмаев, В. Р. Аширов, М. Х. Садуллаев // Достижения науки и образования — 2019 – С. 7–8.



4. Мецаал, Н. А. Паровая конверсия метана и пиролиз метана с захоранением и улавливанием CO<sub>2</sub> на энергетическом объекте / Н. А. Мецаал, А. А. Калютик, К. А. Али, Б. Х. Расоол // Международный научно-исследовательский журнал — Т. 2–2024 — С. 1–9.
5. Чжу, Л. Модифицированный процесс преодоления недостатков традиционного парового риформинга метана для производства водорода: термодинамическое исследование / Л. Чжу, Л. Ли, Дж. Фань // Исследование и проектирование в области химической инженерии — Т. 104–2015 — С. 792–806.
6. Распространенные проблемы парового риформинга [Электронный ресурс] — URL: [https://www.academia.edu/10165613/Steam\\_Reforming\\_Common\\_Problems](https://www.academia.edu/10165613/Steam_Reforming_Common_Problems) (Дата обращения: 19.04.2026).
7. Богославский, С. Н., Область применения искусственных нейронных сетей и перспективы их развития / С. Н. Богославский; Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета — 2007. — № 27–127 с.
8. Кравцов, А. В. Прогнозирование технологических свойств Pt-катализаторов процесса риформинга с использованием интеллектуальной компьютерной системы / А. В. Кравцов, Э. Д. Иванчина и др. // Известия Томского политехнического университета — Томск. — 2005. — С. 114–118.
9. Жемулина, М. С. Подбор состава катализатора в химической промышленности на основе модели нейронной сети / М. С. Жемулина и С. М. Каратун // Инновации. Наука. Образование. — № 32. — 2021. — С. 1580–1587.
10. Открытая база данных реакций [Электронный ресурс] — URL: <https://open-reaction-database.org/about> (Дата обращения: 19 04 2026).
11. API-интерфейсы машинного обучения [Электронный ресурс] — URL: <https://kanerika.com/glossary/machine-learning-apis/> (Дата обращения: 19.04.2026).
12. Гилмер, Дж. Нейронная передача сообщений для квантовой химии / Дж. Гилмер, С. С. Шёнхольц, П. Ф. Райли и др. [Электронный ресурс] — URL: <https://arxiv.org/abs/1704.01212> (Дата обращения: 19.04.2026).
13. Аббас, С. З. Изучение кинетики и моделирование процесса парового риформинга метана на катализаторе NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в адиабатическом реакторе с неподвижным слоем. / С. З. Аббас, В. Дюпон // Международный журнал водородной энергетики — Т. 42 — № 5–2017 — С. 2889–2903.
14. Паровой риформинг метана [Электронный ресурс]. URL: <https://p-gas.ru/technology4> (Дата обращения: 19 04 2026).
15. Рогалев, Н. Д. Разработка и моделирование технологической схемы установки паровой конверсии метана с кислородным сжиганием топлива и улавливанием углекислого газа / Н. Д. Рогалев, А. Н. Рогалев и др. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики — Т. 24 — № 6–2024 — С. 1049–1058.
16. Сюй, Дж. Паровой риформинг метана, метанирование и конверсия водяного газа: I. Истинная кинетика / Дж. Сюй, Г. Ф. Фромент // Журнал Американского института инженеров-химиков — Т. 35 — № 1–1989 — С. 88–96
17. Сюй, Дж. Паровая конверсия метана: II. Диффузионные ограничения и моделирование реактора / Дж. Сюй, Г. Ф. Фромент // Журнал Американского института инженеров-химиков — Т. 35 — № 1–1989 — С. 88–96
18. Тонкович, А. Л. Ю. Переход от секунд к миллисекундам и микросекундам за счет специальной конструкции микроканального реактора для парового риформинга метана / А. Л. Ю. Тонкович, Б. Ян и др. // Катализ сегодня. — Т. 120 — № 1–2007 — С. 21–29

## Оценка риска аварий при производстве растительного масла с помощью дерева отказов и дерева событий в филиале «Маслоэкстракционный завод Юг Руси Ростов»

Бочарников Владислав Владимирович, студент магистратуры  
Научный руководитель: Щекина Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, доцент  
Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону)

### Введение

Масложировая промышленность Российской Федерации является одной из ключевых отраслей агропромышленного комплекса, обеспечивающей население и перерабатывающие отрасли растительными маслами, шротом и другими продуктами. Производственные объекты отрасли, такие как маслоэкстракционные заводы, относятся к категории опасных производственных объектов (ОПО) III и IV классов опасности. Это обусловлено обращением в технологи-

ческих процессах легковоспламеняющихся жидкостей (растворитель — нефрас), горючих жидкостей (растительные масла), а также взрывопожароопасных пылей (шрот, лузга).

Анализ аварийности на аналогичных объектах показывает, что наиболее характерными происшествиями являются взрывы пылевоздушных смесей в технологическом оборудовании и помещениях, разливы и возгорания растворителя, а также самовозгорание шрота при нарушении режимов хранения. Последствия таких аварий могут быть катастрофическими: человеческие жертвы, разрушение зданий, значительный экологический ущерб (загрязнение почвы, воды, воздуха) и материальные потери.

В соответствии с требованиями Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144), для количественной оценки риска аварий рекомендуется применять вероятностные методы анализа, в частности метод «дерева отказов» (FTA) и метод «дерева событий» (ETA). Данные методы позволяют системно идентифицировать сценарии аварий, выявить ключевые факторы риска и оценить вероятности реализации опасных событий.

Целью данной статьи является количественная оценка риска аварий на маслоэкстракционном производстве филиала «МЭЗ Юг Руси Ростов» ООО «МЭЗ Юг Руси» с использованием методологии дерева отказов и дерева событий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ опасностей и аварийности на маслоэкстракционных производствах на основе данных Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий филиала.
2. Выбрать наиболее опасные технологические блоки и определить для них верхние события анализа.
3. Построить логические деревья отказов для выбранных аварийных сценариев, идентифицировать базовые события и определить вероятности их возникновения, используя справочные данные (OREDA, отраслевые источники) и экспертные оценки.
4. Разработать деревья событий для оценки развития аварийных ситуаций и рассчитать вероятности различных исходов.
5. Выполнить количественную оценку риска, сравнить полученные значения с критериями приемлемого риска.
6. На основе анализа чувствительности выявить основные факторы, вносящие наибольший вклад в риск, и предложить технические и организационные меры по его снижению.

## 1. Статистика по авариям на маслоэкстракционных производствах

### 1.1. Анализ аварийности на аналогичных объектах

Анализ статистических данных показывает, что маслоэкстракционные заводы, элеваторы, комбикормовые предприятия относятся к категории повышенной опасности. Основными поражающими факторами аварий на таких объектах являются взрывы пылевоздушных смесей, пожары разливов растворителей (нефраса) и растительного масла, а также взрывы газовоздушных смесей в системах газопотребления.

Наиболее характерные виды аварий, зафиксированные на аналогичных объектах за последние десятилетия, представлены в таблице 1.

Все аварии могут быть разделены на три основные группы по причинам возникновения:

Таблица 1. Характерные аварии на объектах переработки масличных культур и хранения зерна

Год	Место аварии	Тип аварии	Последствия	Основная причина
1981	г. Калинин (ныне Тверь), хлебокомбинат	Взрыв мучной пыли	Полное разрушение бэтажного здания, 10 погибших	Неустановленная (пылевое облако)
1992	Харьковская обл., комбикормовый завод	Пылевой взрыв	Разрушение двух этажей, 11 погибших, 18 раненых	Нарушение герметичности оборудования
2005	г. Латакия, Сирия, портовое зернохранилище	Взрыв	Разрушение здания, 1 погибший, 20 пострадавших	Накопление пыли, источник зажигания
2013	г. Иркутск, масложиркомбинат	Взрыв	Разрушение цеха элеватора, 4 пострадавших	Возгорание мучной пыли
2008	г. Ростов-на-Дону	Пожар	Пожар в цехе производства масла	Короткое замыкание, попадание масла на проводку
2012	Ростовская обл., цех фасовки	Отравление газом	Пострадал персонал, угрозы населению не было	Утечка газа

1. Отказы элементов технологических систем при нормальных параметрах процесса — разгерметизация оборудования из-за коррозии, усталости металла, разрушения сварных швов, выхода из строя насосов, арматуры, систем КИПиА. В маслоэкстракционных производствах это наиболее вероятно в экстракционных цехах, где обращается растворитель (нефрас), а также в трубопроводах подачи пара, масла.

2. Отказы при отклонении параметров процесса — аварии, спровоцированные нарушениями режимов: превышение давления, температуры, прекращение подачи пара, хладагента, электроэнергии. Например, остановка подачи пара в тостер может привести к неполной отгонке растворителя и, как следствие, к загазованности и взрыву.

3. Ошибочные действия персонала — самый значимый фактор (до 55 % аварий). Сюда относятся: неправильные операции при пуске и остановке оборудования, нарушения инструкций по проведению огневых и газоопасных работ, несвоевременное обнаружение признаков аварии, ошибки при локализации.

На основе анализа данных ПМЛА можно выделить ключевые сценарии, характерные именно для маслоэкстракционных заводов:

1. Взрывы паров растворителя (нефраса) в замкнутых объемах (экстракторы, дистилляторы, бензохранилища). Причины: нарушение герметичности, подсос воздуха в аппараты, работающие под вакуумом, неэффективная продувка азотом, отказ газоанализаторов.

2. Пожары проливов нефраса и масла при разгерметизации оборудования, насосов, трубопроводов. Испарение растворителя приводит к образованию взрывоопасного облака; загорание может произойти от статического электричества, искр механизмов, открытого огня.

3. Взрывы и пожары в системах хранения и грануляции шрота. Шрот подсолнечный, соевый, рапсовый являются горючими материалами, склонными к самовозгоранию при нарушении режимов хранения (температура, влажность). Пыль шрота взрывоопасна: нижний концентрационный предел распространения пламени для фракции 70 мкм составляет около 7,6 г/м<sup>3</sup>.

4. Аварии в газопотребляющих установках (котельная, парогенераторы) — утечки природного газа, взрывы газоздушных смесей в помещениях, отравления угарным газом. Чаще всего происходят из-за неисправности автоматики, нарушения тяги, отсутствия контроля загазованности.

## 1.2. Оценка частоты аварий на объекте

Для количественного анализа риска использованы нормативные, справочные и экспертные данные, сведённые в таблицу 2. В ней представлены средние частоты инициирующих событий для трёх основных групп опасностей, характерных для маслоэкстракционного производства.

Таблица 2. Частоты инициирующих событий для основных опасностей

Группа опасности	Тип оборудования / сценарий	Частота инициирующего события, год <sup>-1</sup>	Источник данных / примечание
Растворитель (нефрас), масло	Разгерметизация ёмкостей (резервуары, аппараты)	$1,0 \times 10^{-4} — 1,0 \times 10^{-3}$	OREDA, усреднённые данные по хранению ЛВЖ
	Отказ насосного оборудования	$2,5 \times 10^{-3} — 1,0 \times 10^{-2}$	OREDA, насосы для легковоспламеняющихся жидкостей
	Разрыв технологического трубопровода (полный/частичный)	$1,0 \times 10^{-5} — 1,0 \times 10^{-4}$ на метр в год	РД 03–418–01, экспертные оценки
	Итоговая частота разгерметизации (на одну технологическую линию)	$\approx 6,8 \times 10^{-3}$	Расчёт по логической схеме «ИЛИ» для группы оборудования
Пыль шрота, лузги	Воспламенение паровоздушной смеси (при наличии источника)	0,2–0,7 (зависит от сценария)	Приказ № 4, Приложение 5
	Образование взрывоопасной пылевоздушной смеси	$1,0 \times 10^{-2} — 5,0 \times 10^{-2}$	Статистика аварий на элеваторах, комбикормовых заводах
	Наличие источника зажигания (искра, трение, перегрев)	$1,0 \times 10^{-3} — 1,0 \times 10^{-2}$	Экспертные оценки по состоянию аспирации
	Итоговая частота взрыва пыли	$\approx 1,0 \times 10^{-3} — 5,0 \times 10^{-3}$	Расчёт с учётом эффективности систем защиты
Природный газ	Разгерметизация газопровода высокого/среднего давления	$1,0 \times 10^{-5} — 1,0 \times 10^{-4}$ на метр в год	Приказ № 4, данные по магистральным газопроводам
	Утечка в помещении котельной / парогенераторной	$5,0 \times 10^{-4} — 1,0 \times 10^{-3}$	Статистика аварий котельных, отказ газоанализаторов
	Воспламенение / взрыв газозвушной смеси	0,1–0,5 (при утечке)	Приказ № 4, экспертные оценки

Для растворителя и масла частоты разгерметизации взяты из базы OREDA (6-е издание) для аналогичных типов оборудования (резервуары, насосы, трубопроводы). Итоговая частота разгерметизации технологической линии рассчитана как вероятность объединения событий (логическое «ИЛИ») по формуле:

$$P_{\text{разг}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i)$$

где  $q_i$  — частоты отказов отдельных элементов. Для основных элементов (ёмкость, насос, трубопровод) при средних значениях получаем  $P_{\text{разг}} \approx 6,8 \times 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ . Данный подход консервативен и даёт верхнюю границу оценки.

Для пылевых взрывов использованы обобщённые статистические данные по взрывам на предприятиях по хранению и переработке зерна (элеваторы, комбикормовые заводы). Частота образования взрывоопасной смеси существенно зависит от эффективности аспирации и регулярности уборки пыли.

Для природного газа нормативные значения взяты из Приказа № 144 для наружных и внутренних газопроводов. Для помещений котельной дополнительно учтена вероятность отказа газоанализаторов и систем автоматического отключения.

## 2. Методология оценки риска на основе дерева отказов

### 2.1. Нормативная база и источники данных

Для проведения количественной оценки риска аварий на маслоэкстракционном производстве необходимо использовать комплекс нормативных документов, регламентирующих требования промышленной безопасности, методы анализа риска, а также достоверные источники данных о надёжности оборудования и частотах аварийных событий.

Фундаментом системы промышленной безопасности в Российской Федерации является Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», который устанавливает обязательность анализа риска, разработки планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА), а также страхования гражданской ответственности. Согласно данному закону, маслоэкстракционные производства, где обращаются легковоспламеняющиеся жидкости (нефрас, масла) и горючие пыли, относятся к опасным производственным объектам III–IV класса опасности.

В развитие закона действуют **Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности**. Для маслоэкстракционных заводов ключевыми являются:

— **«Правила безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья»** (утв. приказом Ростехнадзора от 26.12.2012 № 783) — содержат требования к технологическим процессам, оборудованию, аспирации, пылеуборке, системам контроля загазованности.

— **«Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления»** (утв. приказом Ростехнадзора от 15.11.2013 № 542) — регламентируют безопасную эксплуатацию газопроводов, котельных, парогенераторов.

Для процедуры количественного анализа риска основополагающим является Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Данный документ содержит общие подходы к идентификации опасностей, оценке частот и последствий, в том числе рекомендации по использованию экспертных оценок при отсутствии статистики.

Для выполнения логико-вероятностного моделирования использованы следующие методические и справочные источники:

— ГОСТ Р 58771–2019 (МЭК 61025:2006) «Менеджмент риска. Технологии анализа опасностей» — устанавливает терминологию, правила построения деревьев отказов (FTA), способы расчёта вероятностей для логических вентилей «И» и «ИЛИ».

— OREDA (Offshore Reliability Data Handbook), 6th edition, 2022 — международная база данных по надёжности оборудования, используемая в нефтегазовой и перерабатывающей промышленности. Содержит статистику интенсивности отказов для насосов, ёмкостей, теплообменников, арматуры, систем управления. Данные OREDA являются «золотым стандартом» для количественного анализа риска.

— Отечественные справочники по надёжности — «Справочник по надёжности технических систем и элементов нефтегазового оборудования» (под ред. В. Г. Щербины, 2015) и аналогичные издания, содержащие данные по оборудованию, эксплуатируемому в условиях перерабатывающих производств.

— Статистика аварийности в филиале «МЭЗ Юг Руси Ростов», включая сведения о типичных авариях на аналогичных объектах, причинах их возникновения, а также анализ условий развития аварий. Эти данные использованы для калибровки экспертных оценок и для выбора наиболее вероятных сценариев.

План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА) филиала «МЭЗ Юг Руси Ростов» предоставляет детальную информацию, необходимую для построения деревьев отказов и событий:



— Характеристика опасных веществ — физико-химические свойства нефраса (ЛВЖ, температура вспышки  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , НКПР 1,15 %), растительного масла (температура вспышки  $>225\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), пыли шрота (НКПР  $7,6\text{ г/м}^3$ , температура воспламенения  $235\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), природного газа (НКПР 5,28 %). Эти параметры определяют вероятности воспламенения и тяжесть последствий.

— Перечень основного технологического оборудования — типы, количество, технические характеристики, расположение. Включены данные о ёмкостях с растворителем (подземные резервуары РГО50М, РГО75М), насосах, экстракторах, дистилляторах, трубопроводах. Для каждого типа оборудования известна его функция и условия эксплуатации, что позволяет назначить соответствующие частоты отказов из справочников.

— Системы автоматического регулирования, блокировок, сигнализаций — подробно описаны контролируемые параметры, пределы срабатывания, исполнительные механизмы. Для экстракционного цеха указаны газоанализаторы (сигнализаторы горючих газов) с уставками 10 % и 50 % НКПР, аварийная вентиляция, блокировки по давлению пара, уровню шрота. Эти сведения позволяют оценить вероятности отказов систем защиты и их эффективность.

В связи с отсутствием достаточной отечественной статистики по надёжности оборудования маслоэкстракционных заводов, в работе использованы следующие источники:

— Для ёмкостного оборудования, насосов, теплообменников — данные OREDA для аналогичного оборудования, эксплуатируемого на объектах переработки углеводородов. Выбраны средние значения интенсивности отказов с учётом условий эксплуатации (рабочее давление, температура, агрессивность среды).

— Для трубопроводов — данные Приказа № 144, согласно которым частота разгерметизации на единицу длины составляет от  $1,0 \times 10^{-5}$  до  $1,0 \times 10^{-4}\text{ год}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$  в зависимости от диаметра и типа прокладки.

— Для газоанализаторов и систем ПАЗ — использованы данные о надёжности электронных средств контроля (средняя наработка на отказ, вероятность ложного/необнаруженного срабатывания), приведённые в отраслевых справочниках по приборостроению.

— Для ошибок персонала — применены экспертные оценки, основанные на анализе аварийности на аналогичных объектах (раздел 1.1) и данных психологии труда (вероятность ошибочных действий при стрессовых ситуациях, отсутствии тренажёров и т. п.). В работе принята вероятность ошибки оператора в диапазоне  $1,0 \times 10^{-2}$ – $5,0 \times 10^{-2}$  на операцию.

## 2.2. Алгоритм построения и расчета FTA

Метод дерева отказов (Fault Tree Analysis, FTA) представляет собой дедуктивный логико-вероятностный инструмент, позволяющий системно проанализировать причины возникновения нежелательного события (аварии) и количественно оценить его вероятность. Алгоритм построения и расчёта дерева отказов включает несколько последовательных этапов, которые реализованы в данной работе с учётом специфики маслоэкстракционного производства.

Первый этап — чёткое определение верхнего события — того аварийного сценария, риск которого подлежит оценке. Верхнее событие формулируется однозначно, без допущения двусмысленности. Для маслоэкстракционного производства в качестве верхних событий выбраны: «Аварийная разгерметизация оборудования экстракционного цеха с выбросом нефраса и последующим воспламенением»; «Взрыв пылевоздушной смеси в цехе грануляции или складе шрота»; «Разгерметизация газопровода с воспламенением природного газа». Каждое из этих событий в дальнейшем анализируется в отдельном дереве отказов.

Второй этап — декомпозиция верхнего события на более простые составляющие. Для этого формулируется вопрос: «Какие непосредственные причины могут привести к данному событию?». Ответы на этот вопрос становятся событиями следующего уровня, которые связываются с верхним событием с помощью логических вентилей. Вентиль «И» (AND Gate) означает, что выходное событие происходит только при одновременном наступлении всех входных событий. Этот тип вентиля характерен для ситуаций, когда для аварии требуется совпадение нескольких неблагоприятных факторов (например, отказ основного и резервного насоса одновременно). Вентиль «ИЛИ» (OR Gate) означает, что выходное событие наступает при наступлении хотя бы одного из входных событий; он отражает наличие альтернативных путей к аварии. Для экстракционного цеха, например, верхнее событие «Разгерметизация с выбросом нефраса» раскладывается через вентиль «ИЛИ» на три группы причин: отказ герметичности оборудования, ошибки персонала, внешние воздействия. В свою очередь, отказ герметичности может быть детализирован через вентиль «ИЛИ» на отказ ёмкостей, насосов, трубопроводов, фланцевых соединений.

Третий этап — последовательная детализация промежуточных событий до уровня базовых (исходных) событий. Базовые события — это такие события, для которых можно определить или оценить вероятность на основе статистических данных, справочников, экспертных заключений. В маслоэкстракционном производстве к базовым событиям отнесены: «Отказ насоса перекачки нефраса», «Разрыв трубопровода диаметром 100 мм из-за коррозии», «Неисправность газоанализатора в экстракционном цехе», «Ошибка оператора при закрытии задвижки», «Нарушение температурного режима в тостере», «Отказ системы аспирации в цехе грануляции». Для каждого базового события из справочных данных (OREDA, Приказ № 144) назначается численная вероятность (частота) в размерности  $\text{год}^{-1}$  или на одну операцию.

Четвёртый этап — присвоение вероятностей и расчёт. После построения полной логической структуры дерева отказов и определения вероятностей всех базовых событий выполняется расчёт снизу-вверх: для каждого промежуточного события вычисляется вероятность наступления по правилам булевой алгебры. Для вентилей «И» вероятность выходного события рассчитывается как произведение вероятностей входных событий:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$$

Для вентилей «ИЛИ» вероятность выходного события вычисляется по формуле:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(A_i))$$

Расчёт продолжается до тех пор, пока не будет определена вероятность верхнего события. При этом все вероятности должны быть приведены к единой временной базе (обычно год<sup>-1</sup>).

Пятый этап — анализ минимальных наборов срезов (Minimal Cut Sets). Хотя в данной работе основной акцент сделан на прямом вероятностном расчёте, определение минимальных наборов срезов позволяет выявить те комбинации базовых событий, которые наиболее значимо влияют на вероятность верхнего события. Анализ срезов даёт возможность ранжировать факторы риска и целенаправленно разрабатывать меры по повышению безопасности. Например, если в дереве отказов для взрыва пыли минимальный набор срезов включает «Отказ аспирации» и «Наличие источника зажигания», то усиление контроля аспирации и искробезопасность оборудования станут приоритетными направлениями.

При построении дерева отказов для маслоэкстракционного производства использованы данные о технологических схемах, оборудовании, системах контроля и автоматики. Так, для экстракционного цеха учитывались наличие газоанализаторов с уставками срабатывания 10 % и 50 % НКПР, система подачи азота для продувки аппаратов, резервирование насосов. Для цеха грануляции и склада шрота — взрыворазрядители на нориях, температурные датчики в силосах, система пылеуборки и регламенты контроля влажности и температуры шрота. Включение этих технических средств в структуру дерева отказов в виде дополнительных вентилей (например, «И» для системы защиты) позволяет учесть их влияние на снижение вероятности аварии.

### 3. Анализ риска аварии в экстракционном цехе с выбросом растворителя

#### 3.1. Построение дерева отказов для события «выброс паров нефраса с воспламенением»

Экстракционный цех является наиболее опасным технологическим блоком маслоэкстракционного производства. В качестве экстрагента используется нефрас — легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) с температурой вспышки -32...-

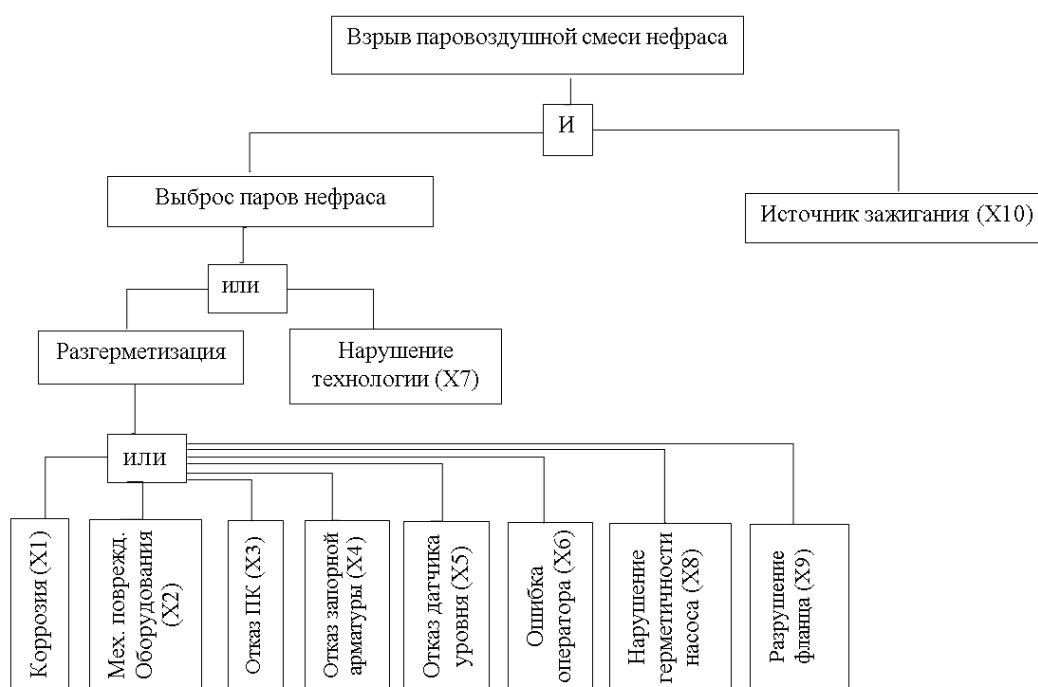


Рис. 1. Дерево отказов для сценария выброса паров нефраса в экстракционном цехе

-33°C. Основные технологические аппараты, содержащие нефрас и мисцеллу: экстрактор, дистилляторы, сборники мисцеллы, рабочие баки растворителя, а также подземные резервуары оборотного бензохранилища.

**Верхнее событие для анализа: «Разгерметизация оборудования экстракционного цеха с выбросом паров нефраса, образованием взрывоопасного облака и его воспламенением».**

Базовые события (с указанием вероятностей) и их обоснование приведены в таблице 3.

### 3.2 Расчёт вероятности верхнего события

**1. Вероятность разгерметизации оборудования (A1) через вентиль «ИЛИ»:**

$$P(A1) = 1 - (1 - X1)(1 - X2)(1 - X3)(1 - X4)(1 - X5)(1 - X6)(1 - X8)(1 - X9)$$

Подставляя значения:

$$P(A1) \approx 1 - (0,9999)(0,9999)(0,999)(0,9995)(0,998)(0,99)(0,997)(0,9998) \approx 1 - 0,983 \approx 1,70 \cdot 10^{-2}$$

**2. Вероятность неэффективности системы аварийной вентиляции (A2).**

Согласно ПМЛА, при достижении 50 % НКПР срабатывает сигнализация и включается аварийная вентиляция. Отказ вентиляции (X7) приводит к тому, что выброс паров не удаляется, создавая взрывоопасную концентрацию.

**Вероятность этого события принимается равной частоте отказа вентиляции:**

$$P(A2) = X7 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

**3. Вероятность выброса паров (A):**

$$P(A) = 1 - (1 - P(A1))(1 - P(A2)) \approx 1 - (1 - 0,017)(1 - 0,001) \approx 1 - 0,982 \approx 1,80 \cdot 10^{-2}$$

**4. Вероятность наличия источника зажигания (B), согласно таблице 3,  $P(B) = 5 \cdot 10^{-2}$ .**

**5. Вероятность верхнего события (V):**

$$P(V) = P(A) \cdot P(B) = 1,80 \cdot 10^{-2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-2} = 9,0 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

Полученное значение ( $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ) является оценочной частотой реализации наиболее опасного сценария — воспламенения паровоздушного облака.

Анализ минимальных сечений. Для дерева отказов экстракционного цеха минимальные наборы срезов (минимальные сочетания базовых событий, приводящие к аварии) включают, например, {X4, X10} (отказ запорной арматуры и источник зажигания), {X8, X10} (разгерметизация насоса и источник зажигания), а также {X6, X10} (ошибка оператора и источник зажигания). Наличие X10 во всех сечениях указывает на критическую важность исключения источников зажигания. Наибольший вклад в вероятность верхнего события вносят сечения, содержащие события с высокой частотой (X6 — ошибка оператора, X8 — отказ насоса), что определяет приоритетность мер по повышению надежности оборудования и снижению человеческого фактора.

### 3.3 Построение дерева событий для сценария выброса паров нефраса

Для анализа развития аварии после выброса используется дерево событий (рисунок 2). Иницирующее событие — **выброс паров нефраса** (частота  $f = 1,80 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ ). В зависимости от наличия источников зажигания и своевременности срабатывания систем защиты могут реализоваться следующие сценарии:

— **СЦ1:** Мгновенное воспламенение → факельное горение (тепловое воздействие, риск для персонала, повреждение оборудования) — вероятность 0,5.

— **СЦ2:** Задержка воспламенения → взрыв облака ТВС (ударная волна, разрушения) — вероятность 0,4.

— **СЦ3:** Отсутствие воспламенения → загрязнение окружающей среды (разлив, испарение) — вероятность 0,1.

**Расчёт вероятностей сценариев:**

Таблица 3. Базовые события для дерева отказов экстракционного цеха

Код	Наименование базового события	Вероятность	Размерность / примечание
X1	Коррозионный разрыв трубопровода/аппарата	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$\text{год}^{-1}$
X2	Механическое повреждение оборудования	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$\text{год}^{-1}$
X3	Отказ предохранительного клапана	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$\text{год}^{-1}$
X4	Отказ запорной арматуры	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$\text{год}^{-1}$
X5	Отказ датчика уровня (переполнение)	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$\text{год}^{-1}$
X6	Ошибка оператора при ведении процесса	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$\text{год}^{-1}$
X7	Отказ системы аварийной вентиляции	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$\text{год}^{-1}$
X8	Нарушение герметичности насоса (сальник)	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$\text{год}^{-1}$
X9	Нарушение целостности фланцевого соединения	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$\text{год}^{-1}$
X10	Источник зажигания (электрический, искра, открытый огонь)	$5,0 \cdot 10^{-2}$	условная вероятность (безразмерная)

Частота инициирования  $f = 1,80 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$

1. СЦ1:  $P = f \cdot 0,5 = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$
2. СЦ2:  $P = f \cdot 0,4 = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$
3. СЦ3:  $P = f \cdot 0,1 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$

Наиболее опасный сценарий — взрыв облака ТВС (СЦ2), который может привести к разрушению зданий, травмам персонала и запуску эффекта «домино» (повреждение соседнего оборудования). Вероятность этого сценария составляет  $7,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

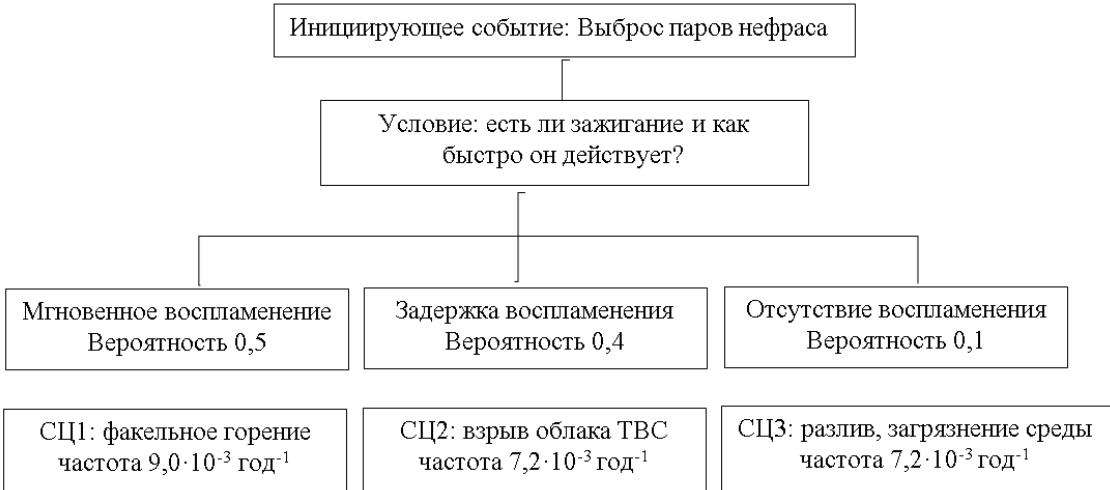


Рис. 2. Развитие аварийной ситуации после выброса паров нефраса

4. Анализ риска аварии при хранении и грануляции шрота

4.1. Построение дерева отказов для самовозгорания шрота

Дерево отказов строится для события «самовозгорание шрота в силосе». Основные причины: превышение допустимой температуры шрота при загрузке (более 35°С), повышенное содержание остаточного растворителя (более 0,08 %), нарушение сроков хранения (более 7 суток без переработки), отсутствие контроля температуры.

Базовые события и их вероятности приведены в таблице 4.

Таблица 4. Базовые события для дерева отказов самовозгорания шрота

Код	Наименование базового события	Вероятность (год <sup>-1</sup> )	Обоснование
Y1	Нарушение режима охлаждения шрота после тостера	2,0·10 <sup>-3</sup>	Экспертная оценка
Y2	Отказ датчика температуры шрота	1,0·10 <sup>-3</sup>	OREDA
Y3	Ошибка оператора при установке температуры	1,0·10 <sup>-2</sup>	Экспертная оценка
Y4	Повышенное содержание нефраса в шроте (неисправность дистиляции)	5,0·10 <sup>-3</sup>	Экспертная оценка
Y5	Отсутствие контроля влажности шрота	1,0·10 <sup>-3</sup>	Экспертная оценка
Y6	Хранение шрота более 7 суток без переработки	3,0·10 <sup>-2</sup>	По регламенту

**Расчёт вероятности самовозгорания:**

Событие «нарушение температурного режима» (Z1) — вентиль «ИЛИ» для Y1, Y2, Y3:  
 $P(Z1) = 1 - (1 - 0,002)(1 - 0,001)(1 - 0,01) \approx 1 - 0,987 \approx 1,30 \cdot 10^{-2}$

Событие «наличие остаточного растворителя» (Z2) — Y4  $\approx 5,0 \cdot 10^{-3}$ .

Событие «нарушение сроков хранения» (Z3) — Y6  $\approx 3,0 \cdot 10^{-2}$ .

Верхнее событие (самовозгорание) наступает, если имеют место Z1 И Z2 И Z3 (вентиль «И»), т. к. для самовозгорания необходимо совпадение всех трёх факторов:

$$P_{\text{сам}} = P(Z1) \cdot P(Z2) \cdot P(Z3) = 1,30 \cdot 10^{-2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 3,0 \cdot 10^{-2} = 1,95 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$



#### 4.2. Построение дерева отказов для взрыва пыли

Взрыв пыли может произойти при образовании взрывоопасной концентрации в оборудовании (грануляторы, нории, бункера) и наличии источника зажигания. Основные причины: отказ аспирации, неисправность взрыворазрядителей, накопление пыли, искры от подшипников, статическое электричество.

Базовые события и их вероятности приведены в таблице 5.

Таблица 5. Базовые события для взрыва пыли

Код	Наименование базового события	Вероятность (год <sup>-1</sup> )
W1	Отказ аспирационной системы	$1,0 \cdot 10^{-3}$
W2	Забивка пылеуловителя	$2,0 \cdot 10^{-3}$
W3	Отказ взрыворазрядителя	$5,0 \cdot 10^{-4}$
W4	Искрение (подшипник, ремень)	$1,0 \cdot 10^{-3}$
W5	Ошибка оператора (не проведена пылеуборка)	$1,0 \cdot 10^{-2}$
W6	Отсутствие заземления оборудования	$1,0 \cdot 10^{-3}$

**Вероятность образования взрывоопасной смеси (вентиль «ИЛИ» для W1, W2, W5):**

$$P_{\text{смесь}} = 1 - (1 - W1)(1 - W2)(1 - W5) \approx 1 - (1 - 0,999)(0,998)(0,99) \approx 1 - 0,987 \approx 1,30 \cdot 10^{-2}$$

**Вероятность источника зажигания (вентиль «ИЛИ» для W4, W6):**

$$P_{\text{ист}} = 1 - (1 - W4)(1 - W6) = 1 - (0,999)(0,999) \approx 2,0 \cdot 10^{-3}$$

**Вероятность взрыва пыли** оценивается как произведение вероятности образования взрывоопасной смеси (вентиль «ИЛИ» для W1, W2, W5) и вероятности источника зажигания (W4, W6). После расчёта получаем величину порядка  $10^{-6} \dots 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

### 5. Анализ риска аварии в системе газопотребления

#### 5.1. Построение дерева отказов для разгерметизации газопровода

Система газопотребления филиала включает газопроводы высокого, среднего и низкого давления, газорегуляторные пункты (ГРПШ, ШРП) и газопотребляющее оборудование (паровые котлы, парогенераторы). Природный газ относится к взрывопожароопасным веществам (4 класс опасности, НКПР 5,28 %). Возможные аварии: разгерметизация газопроводов, отказ автоматики, ошибки персонала при пуске/остановке.

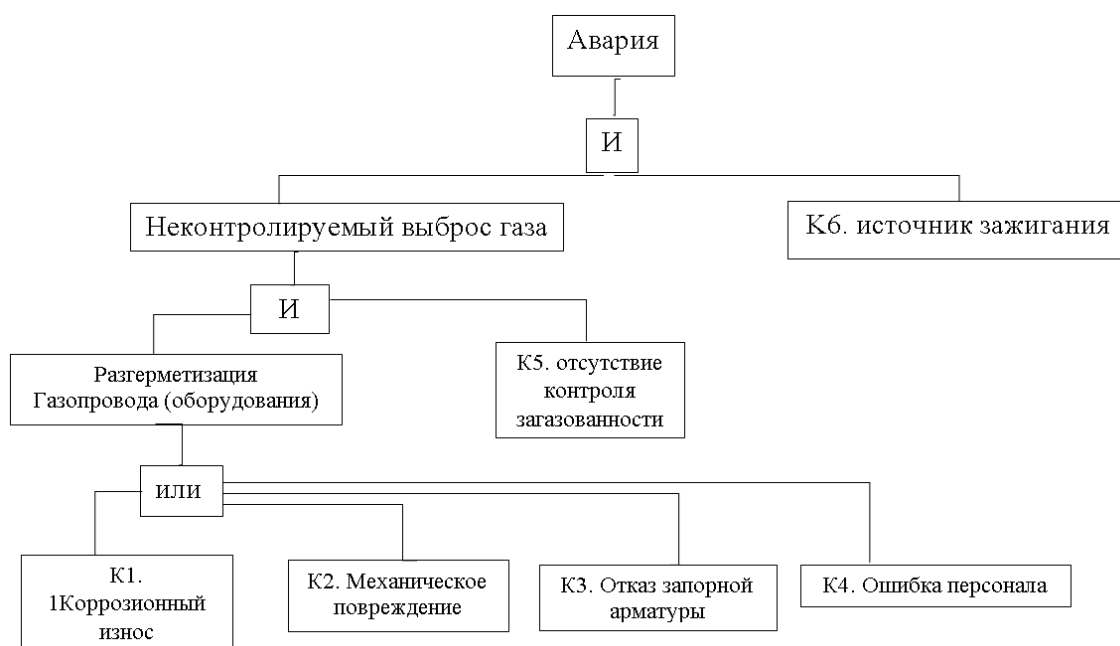


Рис. 3. Верхнее событие «Разгерметизация газопровода с воспламенением газа»

где  
K1 — коррозионный износ ( $1,0 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>),  
K2 — механическое повреждение ( $5,0 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>),  
K3 — отказ запорной арматуры ( $2,0 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup>),  
K4 — ошибка персонала ( $1,0 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>),  
K5 — отказ системы газоконтроля ( $1,0 \cdot 10^{-3}$ ) — условная вероятность необнаружения утечки,  
K6 — источник зажигания (0,1) — условная вероятность при утечке (по данным Приказа № 144, для помещений котельной).

5.2 Расчёт вероятности аварии с воспламенением

Расчёт вероятности верхнего события выполняется снизу-вверх по формулам для логических вентилей.

**1. Вероятность разгерметизации (G1)** — событие наступает при реализации любого из базовых событий K1–K4 (вентиль «ИЛИ»):

$$P(G1) = 1 - (1 - 1,0 \cdot 10^{-4})(1 - 5,0 \cdot 10^{-5})(1 - 2,0 \cdot 10^{-3})(1 - 1,0 \cdot 10^{-2})$$
$$P(G1) = 1 - (0,9999 \times 0,99995 \times 0,9980 \times 0,9900) \approx 1 - 0,9879 = 1,21 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}.$$

**2. Вероятность неконтролируемого выброса газа (G3)** — событие происходит при одновременной разгерметизации и отказе системы контроля загазованности (вентиль «И»):

$$P(G3) = P(G1) \times K5 = 1,21 \cdot 10^{-2} \times 1,0 \cdot 10^{-3} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

**3. Вероятность верхнего события (аварии) T** — для реализации аварии необходимо одновременное наличие неконтролируемого выброса и источника зажигания (вентиль «И»):

$$P(T) = P(G3) \times K6 = 1,21 \cdot 10^{-5} \times 1,0 \cdot 10^{-1} = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Полученное значение  $P(T) = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$  является вероятностью возникновения аварии (взрыва или пожара) в системе газопотребления для одного типового участка газопровода (например, на вводе в котельную). Данная величина соответствует критерию приемлемого риска для персонала (обычно  $10^{-5} \dots 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ) и не превышает его. При отсутствии системы газоконтроля ( $K5 = 1$ ) вероятность аварии составила бы  $1,21 \cdot 10^{-2} \times 0,1 = 1,21 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ , что на три порядка выше и превышает допустимый уровень. Таким образом, наличие автоматизированного газоконтроля является критическим фактором, обеспечивающим безопасность объекта.

6. Сравнительная оценка рисков и выводы

6.1 Сводная таблица рисков

В таблице 6 приведены сводные результаты количественной оценки для рассмотренных сценариев. Индивидуальный риск для персонала оценён как произведение частоты аварии на вероятность гибели (принята 0,1 для взрыва, 0,01 для пожара без взрыва) и экспозицию (доля времени пребывания в опасной зоне: для цеха — 0,1, для склада — 0,05).

Таблица 6. Сравнительная оценка рисков

Сценарий аварии	Частота сценария (год <sup>-1</sup> )	Основные поражающие факторы	Индивидуальный риск (год <sup>-1</sup> )
Взрыв паров нефраса в экстракционном цехе (СЦ2)	$7,2 \cdot 10^{-3}$	Ударная волна, пожар	$\sim 1 \cdot 10^{-4}$ (для операторов)
Самовозгорание шрота	$2,0 \cdot 10^{-6}$	Тление, пожар, задымление	$< 1 \cdot 10^{-6}$
Взрыв пыли шрота	$2,6 \cdot 10^{-5}$	Ударная волна, пожар	$\sim 5 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация газопровода с воспламенением	$1,21 \cdot 10^{-6}$	Факел, взрыв облака	$\sim 1 \cdot 10^{-7}$

Сравнение с общепринятыми критериями (для ОПО часто используют  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$  как условно приемлемый индивидуальный риск для персонала) показывает, что риск для экстракционного цеха превышает этот уровень ( $1 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ). Основной вклад вносит высокая частота выбросов, обусловленная значительным количеством оборудования, содержащего ЛВЖ, и человеческим фактором.

6.2 Рекомендации по снижению рисков

На основе проведённого анализа, а также с учётом имеющихся на объекте систем можно предложить следующие меры:

- 1) Для экстракционного цеха:
    - Установка дополнительных быстродействующих отсекающих клапанов на трубопроводах нефраса и мисцеллы, управляемых по сигналам газоанализаторов.
    - Внедрение автоматической системы порошкового пожаротушения в зонах возможного выброса.
    - Резервирование газоанализаторов и устройств ПАЗ (противоаварийной защиты) с независимыми источниками питания.
    - Проведение регулярных тренировок персонала с использованием тренажёров по ликвидации аварийных разливов и выбросов.
  - 2) Для склада шрота и цеха грануляции:
    - Оснащение силосов системами дистанционного контроля температуры и газоанализа (на CO, CH<sub>4</sub>).
    - Установка взрыворазрядителей на бункерах и нориях, а также систем активного подавления взрыва (например, взрывоподавляющие устройства).
    - Соблюдение регламентных сроков хранения шрота, усиление контроля за влажностью и остаточным растворителем.
    - Организация регулярной пылеуборки с использованием пылесосов во взрывозащищённом исполнении.
- Для системы газопотребления:
- Обеспечение планового технического диагностирования газопроводов (внутренний и наружный контроль).
  - Внедрение системы дистанционного мониторинга давления и загазованности с автоматическим отключением при превышении порогов.
  - Проведение дополнительных инструктажей с персоналом котельной по действиям при аварийных утечках газа.

### Заключение

В ходе выполнения контрольной работы была проведена количественная оценка риска аварий на маслоэкстракционном производстве филиала «МЭЗ Юг Руси Ростов» ООО «МЭЗ Юг Руси» с использованием методов дерева отказов и дерева событий. На основе данных Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА) были идентифицированы основные опасные факторы: обращение легковоспламеняющегося растворителя (нефрас), горючих жидкостей (растительное масло), взрывопожароопасной пыли шрота, а также наличие газопотребляющего оборудования.

Разработаны деревья отказов для трёх ключевых аварийных сценариев:

- выброс паров растворителя в экстракционном цехе с последующим взрывом;
- самовозгорание и взрыв пыли шрота;
- разгерметизация газопроводов.

Для каждого сценария выполнены расчёты вероятностей верхних событий и развития аварийных ситуаций. Установлено, что наибольший риск (частота взрыва облака  $\sim 7 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup>) соответствует сценарию в экстракционном цехе. Основными факторами, вносящими вклад в риск, являются высокая вероятность разгерметизации оборудования (отказы арматуры, насосов, коррозия) и наличие источников зажигания.

Предложены рекомендации по снижению риска, включающие технические меры (модернизация систем противоаварийной защиты, резервирование датчиков, установка быстродействующей запорной арматуры) и организационные мероприятия (усиление контроля за соблюдением регламентов, повышение квалификации персонала, проведение регулярных противоаварийных тренировок).

Реализация предложенных мер позволит существенно снизить вероятность аварий и минимизировать их последствия, обеспечив требуемый уровень промышленной безопасности опасного производственного объекта.

### Литература:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 04.08.2023).
2. Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах».
3. Приказ Ростехнадзора от 26.12.2012 № 783 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности взрывопожароопасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья».
4. Приказ Ростехнадзора от 15.11.2013 № 542 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления».
5. ГОСТ Р 58771–2019 (МЭК 61025:2006) «Менеджмент риска. Технологии анализа опасностей». — М.: Стандартинформ, 2019.

6. OREDA. Offshore Reliability Data Handbook. 6th Edition / OREDA Participants. — Trondheim: OREDA, 2022.
7. План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственные объекты филиала «МЭЗ Юг Руси Ростов» ООО «МЭЗ Юг Руси». — Ростов-на-Дону, 2025.
8. Справочник по надёжности технических систем и элементов нефтегазового оборудования / под ред. В. Г. Щербины. — М.: ООО «НТЦ «Промышленная безопасность», 2015.
9. Абуханов, А. З. Надёжность технических систем и риск-менеджмент в нефтегазовом комплексе / А. З. Абуханов. — М.: Недра, 2018.

## Управление системой измерения и контроля качества нефти с использованием систем усовершенствованного управления технологическими процессами

Ван Цзинлун, студент магистратуры  
Томский государственный педагогический университет

В работе рассмотрено применение систем усовершенствованного управления технологическими процессами (Advanced Process Control, APC) для контроля качества нефти в условиях неопределённости состава сырья и запаздывания лабораторных анализов. Показано место APC в иерархии «DCS → APC → RTO» (DCS — Distributed Control System — распределённая система управления; RTO — Real-Time Optimization — оптимизация в реальном времени). Предложена структура с виртуальным анализатором качества и приведено математическое описание задачи прогнозирующего управления (Model Predictive Control, MPC) с робастной коррекцией.

**Ключевые слова:** APC, MPC, виртуальный анализатор, качество нефти, DCS, RTO, управление с прогнозирующей моделью.

### 1. Актуальность

Нефтеперерабатывающие предприятия сталкиваются с ужесточением требований к качеству товарной нефти и нефтепродуктов, а также необходимостью минимизации потерь при коммерческом учёте. Традиционные системы автоматизации (DCS) обеспечивают стабилизацию параметров, но не способны оптимально управлять качеством в условиях постоянно меняющегося состава сырья и экономических ограничений. Именно здесь на помощь приходят системы APC [1–3; 5].

### 2. Определение APC

Advanced Process Control — это класс методов управления, которые используют математические модели процесса для прогнозирования его поведения и вычисления оптимальных управляющих воздействий. В отличие от классических пропорционально-интегрально-дифференцирующих (ПИД) регуляторов, APC:

- учитывает перекрёстные связи между несколькими входами и выходами (MIMO-системы; MIMO — Multiple Input Multiple Output);
- работает с ограничениями (по температуре, давлению, качеству);
- прогнозирует будущие отклонения и компенсирует их заранее.

Наиболее распространённый алгоритм в APC — это модельное прогнозирующее управление (MPC).

### 3. Место APC в иерархии систем управления предприятием

Для понимания роли APC необходимо рассмотреть классическую трёхуровневую структуру, принятую в стандарте ISA-95 (и в его аналоге — ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014 [4]) (см. рис. 1).

Нижний уровень — DCS (Distributed Control System)

Задачи: локальная стабилизация температуры, давления, расхода. Работает с периодом от долей секунды до нескольких секунд. DCS получает сигналы от датчиков и выдает команды исполнительным механизмам.



### Средний уровень — APC

Работает на горизонте от 1 минуты до 1–2 часов. APC получает от DCS текущие значения переменных, а также данные от анализаторов качества либо от виртуальных датчиков. На основе модели процесса APC вычисляет такие уставки для DCS, которые позволят вести процесс вблизи экономического или технологического оптимума, соблюдая все ограничения.

### Верхний уровень — RTO (Real-Time Optimization)

Решает экономическую оптимизацию в масштабе нескольких часов или смены. RTO использует стационарную модель всего завода (или установки) и с учётом цен на сырьё, энергоресурсы и продукцию вычисляет целевые значения для APC. Период работы RTO — от 2 до 8 часов.

Связь «RTO → APC → DCS → оборудование» показана на рисунке 1.

Таким образом, APC является связующим звеном: без него RTO «повисает в воздухе», а DCS не способен реализовать глобальную оптимизацию.

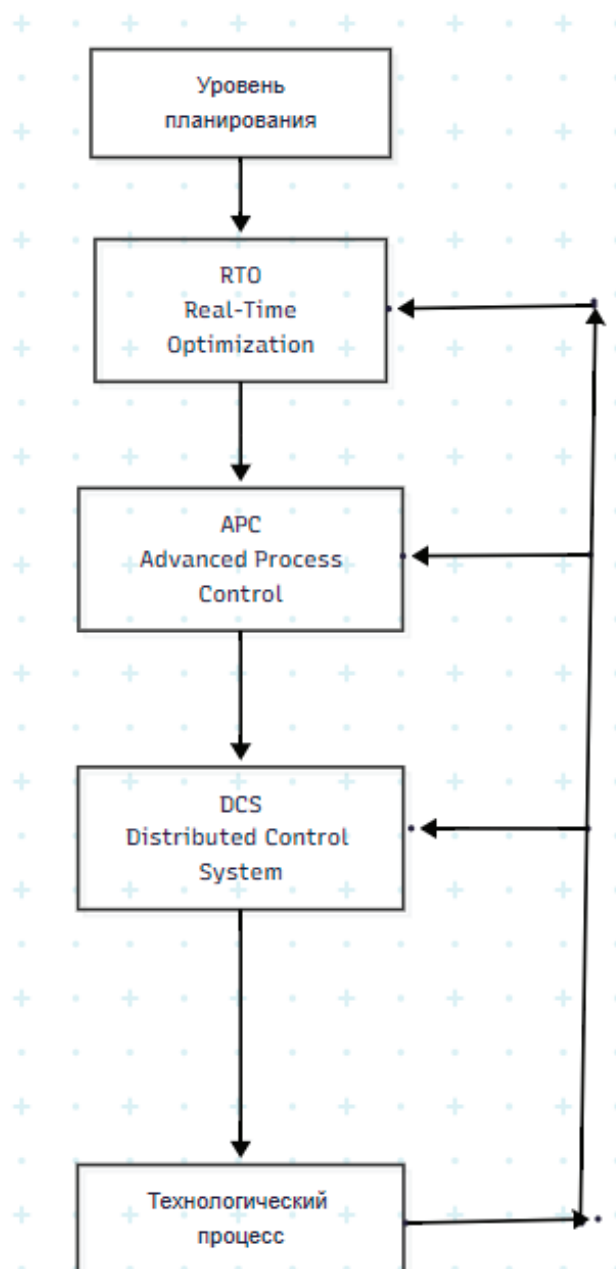


Рис. 1. Иерархия систем управления предприятием (DCS → APC → RTO)

#### 4. Особенности контроля качества нефти при APC

Ключевая проблема управления качеством нефти — отсутствие надёжных онлайн-анализаторов для многих показателей (содержание серы, фракционный состав, плотность). Традиционные лабораторные анализы дают результат с запаздыванием от 2 до 6 часов, что делает невозможным оперативное регулирование.

Решением могут быть виртуальные анализаторы качества — это математические модели (например, на основе регрессии, нейронных сетей или редукционных моделей), которые по косвенным параметрам (температуре, давлению, расходу) в реальном времени оценивают текущее качество нефти. Эти оценки подаются в APC-контроллер.

Структура APC-системы включает (рис. 2):

- блок сбора данных от DCS и лабораторной информационной системы (Laboratory Information Management System, LIMS);
- блок построения и калибровки виртуального анализатора качества;
- прогнозирующий контроллер, который на основе модели процесса и оценок качества вычисляет оптимальные уставки.

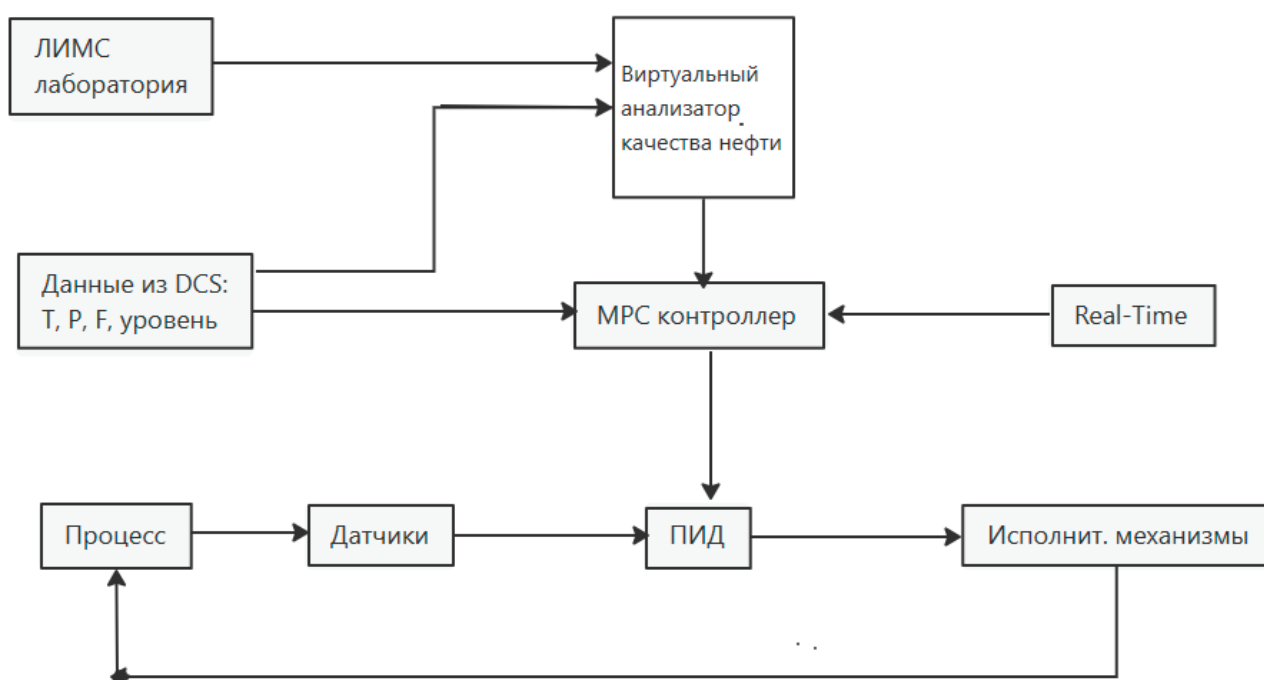


Рис. 2. Структура APC управления качеством нефти с виртуальным анализатором

#### 5. Математическое описание проблемы управления качеством нефти

##### 5.1. Постановка задачи

В рассматриваемом варианте управления подготовкой нефти установлено, что качество целевого продукта должно поддерживаться в заданном диапазоне. Управление осуществляется посредством APC с прогнозирующей моделью.

**Обозначения:**

$t$  — дискретное время (шаг квантования, например, 1 минута);

$u(t) \in R^m$  — вектор управляющих воздействий (уставки для DCS);

$y(t) \in R^p$  — вектор выходных переменных (показатели качества);

$x(t) \in R^n$  — вектор состояния процесса;

$d(t) \in R^q$  — измеримые возмущения (состав сырья и др.).

**Модель процесса в пространстве состояний (линеаризованная):**

$$x(t+1) = Ax(t) + B_u u(t) + B_d d(t) + \xi(t)y(t) = Cx(t) + \eta(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + \eta(t),$$

где  $\xi(t)$  — шум процесса,  $\eta(t)$  — шум измерений.

**Проблема:** показатели качества  $y_{\text{qual}}(t)$  измеряются с большим запаздыванием (лабораторный анализ занимает 2–6 часов) или вообще не имеют онлайн-датчиков. Это делает невозможным классическое управление с обратной связью.

## 5.2. Виртуальный анализатор

Для оценки текущего качества предлагается использовать модель виртуального анализатора

$$y_{\text{qual}}(t) = f_{\text{ss}}(x_{\text{obs}}(t), u(t-1), d(t)),$$

где  $x_{\text{obs}}(t)$  — наблюдаемые переменные процесса. Функция  $f_{\text{ss}}$  может быть линейной регрессией, нейронной сетью или редуцированной моделью.

**Калибровка:** периодически (каждые  $t_{\text{lab}}$  часов) лабораторное значение  $y_{\text{lab}}$  используется для коррекции модели:

$$\hat{y}_{\text{qual}}(t) := \hat{y}_{\text{qual}}(t) + (y_{\text{lab}}(t_{\text{lab}}) - \hat{y}_{\text{qual}}(t_{\text{lab}}))e^{-\lambda(t-t_{\text{lab}})}$$

## 5.3. Прогнозирующее управление (MPC)

Задача APC формулируется как оптимизация на горизонте прогнозирования  $H_p$  и горизонте управления  $H_c$  ( $H_c \leq H_p$ ).

**Целевой функционал:**

$$J(t) = \sum_{k=1}^{H_p} \|y(t+k|t) - y_{\text{ref}}(t+k)\|_Q^2 + \sum_{k=0}^{H_c-1} \|\Delta u(t+k)\|_R^2 + \rho \varepsilon$$

где  $y(t+k|t)$  — прогноз выхода на  $k$  шагов вперёд;

$y_{\text{ref}}(t+k)$  — целевая траектория качества (может задаваться RTO);

$\Delta u(t+k) = u(t+k) - u(t+k-1)$  — приращение управления;

$Q \geq 0, R > 0$  — весовые матрицы;

$\varepsilon$  — переменная, ослабляющая жёсткие ограничения, со штрафом  $\rho$ .

**Ограничения:**

$$u_{\min} \leq u(t+k) \leq u_{\max},$$

$$k = 0 \dots H_c-1, \Delta u_{\min} \leq \Delta u(t+k) \leq \Delta u_{\max}, y_{\min} \leq y(t+k|t) \leq y_{\max} + \varepsilon$$

**Решение.** На каждом шаге  $t$  решается задача квадратичного программирования. Применяется только первое управляющее воздействие  $u(t) = u(t-1) + \Delta u(t)$ , затем горизонт сдвигается.

## 5.4. Учёт запаздывания измерений качества

Пусть истинное качество  $y_{\text{qual}}(t)$  становится известным только через  $\tau$  шагов (лабораторный анализ). Виртуальный анализатор даёт оценку  $\hat{y}_{\text{qual}}(t)$  в реальном времени. В MPC используется **комбинированная модель** или **модель ошибки**:

$$e(t) = y_{\text{lab}}(t - \tau) - \hat{y}_{\text{qual}}(t - \tau)$$

## 5.5. Задача RTO (верхний уровень)

RTO решает экономическую оптимизацию:

$$\max_{y_{\text{ref}}, u_{\text{nom}}} \Phi = \sum_j^{p_j} F_j(y_{\text{ref}}, u_{\text{nom}}) - \sum_i^{c_i} U_i,$$

где  $p_j$  — цены на продукты;

$F_j$  — выходы продуктов;

$c_i$  — стоимость энергоресурсов и сырья;

$U_i$  — их расход.

Решение RTO (оптимальные уставки качества  $y_{\text{ref}}$ ) передаётся в APC каждые несколько часов.

## 5.6. Решение проблемы снижения погрешности качества нефти

**Проблема:** виртуальный анализатор  $f_{\text{ss}}$  будет иметь погрешность, особенно при изменении состава сырья или режима работы установки. Это приводит к смещению прогнозов MPC и, как следствие, к нарушению качества или неоптимальной работе.

**Формально:** требуется обеспечить

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sup \|y_{qual}(t) - y_{ref}(t)\| \leq \delta$$

при наличии неизмеряемых возмущений  $\xi(t)$ , запаздывания лабораторных данных и ошибки виртуального анализатора  $\Delta y_{ss}(t) = y_{qual}(t) - \hat{y}_{qual}(t)$ .

Для решения этой задачи предлагается выполнять периодическую рекалибровку по лабораторным данным с включением робастных методов в MPC путем минимизации максимальной ошибки или использования инвариантных эллипсоидов для ограничений.

### Заключение

APC — это не просто модный термин, а необходимый элемент современной системы управления нефтеперерабатывающим заводом. Он занимает ключевое место между DCS и RTO, позволяя в реальном времени управлять качеством нефти с учётом экономических критериев. Предложенный подход построения APC-системы с адаптивным виртуальным анализатором и робастным MPC, обеспечивающий требуемую точность контроля качества нефти в промышленных условиях, позволит гарантированно удерживать качество нефти в заданном диапазоне даже при существенных изменениях сырья и задержках лабораторных анализов.

### Литература:

1. Qin S. J., Badgwell T. A. A survey of industrial model predictive control technology // Control engineering practice. — 2003. — Т. 11. — № 7. — С. 733–764.
2. Bauer M., Craig I. K. Economic assessment of advanced process control — A survey and framework // Journal of Process Control. — 2008. — Т. 18. — № 1. — С. 2–18.
3. Kadlec P., Gabrys B., Strandt S. Data-driven soft sensors in the process industry // Computers & chemical engineering. — 2009. — Т. 33. — № 4. — С. 795–814.
4. ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014 Интеграция систем управления предприятием. — 2014. — 73 с. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200118645>
5. Ribeiro C. H. P., Miyoshi S. C., Secchi A. R., Bhaya A. Model Predictive Control with quality requirements on petroleum production platforms // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2016. — № 137. — С. 10–21.

## История развития аэрофотосъемки и беспилотных воздушных судов

Вистелиус Станислав Сергеевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный университет

*В работе представлен исторический обзор развития аэрофотосъемки и беспилотных воздушных судов (БВС) от первых опытов XIX века до современных гражданских применений. Рассмотрены ключевые этапы эволюции технологий воздушного фотографирования, вклад отечественных изобретателей, переход от военного к хозяйственному использованию, а также появление космической съемки и гражданских дронов.*

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, беспилотные воздушные суда, фотограмметрия, история картографии.

### Зарождение аэрофотосъемки: XIX — начало XX века

Идея наблюдения с высоты возникла задолго до появления авиации. Еще во II веке до н. э. в Китае использовались воздушные змеи, способные поднимать наблюдателей [1]. Техническая возможность фиксации таких наблюдений появилась в 1839 году с изобретением Луи Дагером дагеротипа — первого в мире фотоаппарата. Первый известный аэрофотоснимок был сделан французским фотографом Надаром в 1858 году с воздушного шара; он же первым предсказал потенциал аэрофото-

съемки в картографии и геодезии. Самый ранний сохранившийся снимок получен Джеймсом Блэком в 1860 году с теплового аэростата над Бостоном [1].

В России пионером воздушного фотографирования стал поручик А. М. Кованько, выполнивший в 1886 году съемку Санкт-Петербурга с высоты более километра [3]. Значительную роль в развитии отечественной аэрофотосъемки сыграло Русское техническое общество (РТО), воздухоплавательный отдел которого возглавлял Д. И. Менделеев. Фотографический отдел РТО под руководством В. И. Срезневского разработал первую спе-

циализированную камеру для воздушной съемки, оснащенную компасом для ориентации снимка, объективом с фиксацией на бесконечность и механизмом перезарядки в воздухе [3].

Помимо свободных аэростатов применялись привязные шары, обеспечивавшие более стабильную платформу и возможность предварительного планирования съемки конкретных объектов, хотя их высота ограничивалась длиной троса, а ветер создавал помехи [3].

### **Воздушные змеи и изобретения С. А. Ульянина**

До распространения самолетов активно использовались воздушные змеи. Джордж Лоуренс в 1906 году с помощью системы из 17 змеев выполнил панорамную съемку разрушенного землетрясением Сан-Франциско с высоты 244 метра [3]. В России широкое применение нашли коробчатые змеи системы капитана С. А. Ульянина, отличавшиеся высокой подъемной силой и устойчивостью. Ульянов также разработал парусную тележку с рекогносцировочным фотоаппаратом, включавшую складную камеру с центральным затвором и aneroid-высотомер. Аппарат перемещался по тросу под действием ветра и отличался мобильностью и независимостью от внешних источников энергии [3].

В период русско-японской войны (1904–1905 гг.) аэрофотосъемка применялась ограниченно из-за сложности управления шарами и змеями, а также несовершенства методов обработки перспективных снимков. Военное руководство недооценило потенциал технологии, и передовые аппараты Ульянина были закуплены лишь к концу войны [3].

### **Первая мировая война и становление аэрофотосъемки**

В 1908–1920 гг. в разных странах велись экспериментальные полеты и разрабатывалась методология аэрофотосъемки. Первая мировая война стала катализатором стремительного развития: от разрозненных опытов перешли к систематическому применению в разведке и картографировании, сформировались специализированные подразделения аэроразведки и фотограмметрии [2, 3].

### **Межвоенный период и хозяйственное применение в СССР**

После войны аэрофотосъемка активно внедрялась в гражданскую сферу. В СССР ее использовали для картографирования, лесоустройства, дорожного строительства, сельского хозяйства и геологии. В 1923 году создано общество «Добролет», а в 1924 году в его составе — отдел

аэрофотосъемки под руководством М. Д. Бонч-Бруевича. Московский геодезический институт начал подготовку профильных специалистов. Первая практическая съемка под Можайском в 1925 году заложила методическую основу советской аэрофотосъемки [3].

Фотопланы применялись на крупнейших стройках, включая Днепрострой, использовались в железнодорожных изысканиях, городском планировании и изучении труднодоступных регионов. В 1932 году Ф. В. Дробышев разработал девятиобъективный аэрофотоаппарат «АД-1» и «АД-2», расширивший возможности съемки [3].

### **Космическая эра и появление спутниковых снимков**

24 октября 1946 года американская ракета V-2 впервые сделала снимок Земли из космоса с высоты 105 км. В 1959 году запущены искусственные спутники: Explorer-6 (США) получил первые спутниковые снимки Земли, Луна-3 (СССР) — Луны. В 1971 году с борта станции «Салют» получены снимки масштаба 1:2 000 000, долго остававшиеся непревзойденными по детализации [3]. К началу 2000-х спутниковые снимки стали общедоступными через сервисы Google Maps, NASA World Wind и Яндекс.Карты.

### **Развитие беспилотных воздушных судов**

БВС изначально создавались для военной разведки. Первое применение датируется 1917 годом, когда австрийцы использовали беспилотные шары для бомбардировки Венеции. В годы Второй мировой войны Германия разработала крылатые ракеты Фау-1 и Фау-2; СССР создал беспилотный торпедоносец-планер В. Никитина и переоборудовал бомбардировщики ТБ-3 для радиоуправляемого подрыва мостов. США массово выпускали беспилотники-мишени Radioplane QQ-2 и первый в мире ударный БВС Interstate TDR-1, запускавшийся с борта В-17 и В-24 [2, 3].

В послевоенный период развитие военных БВС продолжилось, однако гражданское направление активизировалось лишь с 2000 года. В современной России центрами разработки гражданских дронов стали Казань, Санкт-Петербург, Ижевск, Тольятти и Екатеринбург [3].

### **Современные области применения БВС**

Сегодня беспилотные технологии востребованы в геодезии и картографии (создание кадастровых планов, строительство), маркшейдерии (измерение объемов выработок), мониторинге сельхозугодий, лесов, границ и особо охраняемых территорий, а также в медиаиндустрии.

### **Литература:**

1. <http://www.fly-photo.ru/aerofotosemka-istoriya.html> — История аэрофотосъемки



2. <http://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerial-vehicles/> — История развития беспилотных воздушных судов
3. <http://www.photohistory.ru/1207248190481659.html> — Развитие аэрофотосъемки в России

## Применение беспилотных воздушных судов для инвентаризации неучтённых объектов капитального строительства

Вистелиус Станислав Сергеевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный университет

*Рассмотрены методы выявления неучтённых объектов капитального строительства. Основное внимание уделено технологии аэрофотосъемки с БВС, обработке данных и оценке точности координат характерных точек в сравнении с нормативными требованиями.*

**Ключевые слова:** беспилотные воздушные суда, неучтённые объекты капитального строительства, аэрофотосъемка, точность координат.

### Методы выявления неучтённых объектов капитального строительства

Выявление объектов, отсутствующих в ЕГРН, осуществляется комплексом методов, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Группа методов	Содержание	Особенности применения
Визуально-документарные	Осмотр местности, анализ ЕГРН, проверка правоустанавливающих документов	Высокая трудоемкость, точечный охват
Интерактивные	Взаимодействие с органами власти и населением	Зависимость от человеческого фактора
Дистанционные	Аэрофотосъемка с БВС, космическая съемка, геодезические измерения	Высокая оперативность, сплошное покрытие

Наиболее эффективным для сплошной инвентаризации территорий признан метод аэрофотосъемки с применением беспилотных воздушных судов (БВС), сочетающий оперативность получения данных с точностью, сопоставимой с наземными измерениями.

### Технология аэрофотосъемки и обработки данных

БВС — летательный аппарат без экипажа, оснащенный ГНСС-приемником и управляемый дистанционно или по программе. В отличие от пилотируемой авиации, БВС не требуют аэродрома, работают на малых высотах (50–300 м) и менее зависимы от облачности. Применение технологий RTK (Real Time Kinematic) или PPK (Post Processing Kinematic) обеспечивает точность позиционирования центров фотографирования до 1–2 см.

Этапы выполнения работ:

1. Проектирование полетного задания: расчет маршрута, высоты, продольного и поперечного перекрытия снимков (60–80 %).
2. Геодезическая подготовка: определение координат базовой станции в МСК с привязкой к пунктам ГГС.
3. Выполнение полета: автоматическая фотофиксация, мониторинг телеметрии с наземной станции управления.
4. Фотограмметрическая обработка: построение ортофотоплана, цифровой модели рельефа (ЦМР) и облака точек в специализированном ПО (Agisoft Metashape, Pix4Dmapper).

### Оценка точности координат характерных точек

Согласно приказу Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) от 23 октября 2020 года № П/0393, допустимые средние квадратические погрешности (СКП) местоположения характерных точек регламентированы категорией земель (табл. 2).

Таблица 2 [1]

Категория земель	СКП, не более (м)
Земли населенных пунктов	0,1
Земли с/х назначения (ЛПХ, ИЖС, садоводство)	0,2
Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи и иного специального назначения	0,5
Земли с/х назначения (прочие), земли особо охраняемых территорий	2,5
Земли лесного фонда, водного фонда, земли запаса	5

В таблице 3 приведены результаты сравнения координат, полученных спутниковым геодезическим методом и фотограмметрическим методом с БВС.

Таблица 3 [2]

№ точки	Спутниковый метод		Фотограмметрический метод (БВС)		Расхождение $\Delta$ (м)
	X	Y	X	Y	
1	804933,985	249401,659	804933,945	249402	0,05
5	804956,61	249445,919	804956,58	249446	0,07
8	804918,247	248984,315	804918,217	248984	0,06
14	805028,378	248830,81	805028,328	248831	0,08
21	805033,587	248846,413	805033,557	248846	0,04
38	805606,839	248940,925	805606,789	248941	0,09

Вывод: расхождения координат находятся в пределах 0,02–0,09 м, что не превышает допустимую СКП 0,10 м для земель населенных пунктов. Следовательно, точность фотограмметрического метода с БВС удовлетворяет требованиям кадастрового учета для большинства категорий земель.

#### Сравнительный технико-экономический анализ

Сравнение БВС с традиционной тахеометрической съемкой показывает существенное преимущество беспилотных технологий по скорости и стоимости работ (табл. 4).

Таблица 4. Сравнение методов съемки

Параметр	БВС (с RTK-модулем)	Тахеометрическая съемка
Скорость выполнения работ	до 15 км <sup>2</sup> /час (масштаб 1:2000)	определяется сложностью рельефа и числом пикетов
Срок выполнения на объект 5 км <sup>2</sup>	2–4 дня	более 2 недель
Точность в плане	2–5 см	1–2 мм (на точке стояния)
Относительная стоимость	ниже до 50 % за счет автоматизации	высокая (оплата полевых бригад, транспорт)
Оптимальная область применения	большие территории, с/х земли, труднодоступные районы	плотная городская застройка, съемка подземных коммуникаций, фасадов

Оптимальная область применения: большие площади, с/х земли, труднодоступные районы плотная застройка, съемка фасадов и подземных коммуникаций

#### Заключение

Аэрофотосъемка с БВС обеспечивает сокращение сроков инвентаризации ОКС на 40–75 % при снижении стоимости работ до 50 % по сравнению с традиционными методами.

Точность определения координат (0,05–0,10 м) соответствует нормативам приказа Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) от 23 октября 2020 года № П/0393.

Рекомендуется комбинированный подход: БВС для сплошного картографирования территории и выявления объектов; тахеометр — для съемки «слепых зон» и контроля на локальных участках.

#### Литература:

1. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) от 23 октября 2020 года № П/0393
2. Трофимова В. А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении кадастровых работ.

## Нейрокогнитивные детерминаторы эффективного восприятия сигналов оператором в условиях внезапной аварийной ситуации на производстве

Говязова Софья Александровна, студент;

Тарасова Анастасия Сергеевна, студент;

Бурыкина Маргарита Максимовна, студент

Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

*В статье анализируются ключевые нейрокогнитивные процессы обработки мультимодальных аварийных сигналов, их значимость и примеры на реальных производствах. Эти процессы определяют эффективность действий оператора в условиях внезапной нештатной ситуации. Рассмотрены оптимальные параметры сигналов разной модальности и причины их одновременного использования. Показано, что инженерно-психологические требования к созданию средств, которые отображают информацию, и систем для поддержки принятия решений должны основываться на модели нейрокогнитивных ограничений человека в стрессовой ситуации. Внимание уделено практическим аспектам применения мультимодальных сигналов для улучшения безопасности и производительности на производстве.*

**Ключевые слова:** аварийная ситуация, мультимодальные сигналы, визуальный канал, акустический канал, тактильный канал.

## Neurocognitive determinants of effective perception of signals by the operator in the conditions of a sudden emergency situation at production facilities

Govyazhova Sofya Aleksandrovna, student;

Tarasova Anastasiya Sergeevna, student;

Burykina Margarita Maksimovna, student

Nizhny Novgorod State Technical University named after RE Alekseev

*The article analyzes the key neurocognitive processes of processing multimodal alarm signals, their significance, and examples from real production facilities. These processes determine the effectiveness of an operator's actions in a sudden emergency situation. The article examines the optimal parameters of signals of different modalities and the reasons for their simultaneous use. It is shown that engineering and psychological requirements for creating information display tools and decision support systems should be based on a model of human neurocognitive limitations in a stressful situation. The focus is on the practical aspects of using multimodal signals to improve safety and productivity in manufacturing.*

**Keywords:** emergency situation, multimodal signals, visual channel, acoustic channel, and tactile channel.

Надежность управления важными критическими технологическими процессами в условиях внезапной аварийной ситуации зависит только от скорости и точности реакции оператора. Деятельность оператора в условиях аварийного положения является ключевым фактором обнаружения и устранения проблемы. В настоящее время зачастую на производствах системы аварийного оповещения могут формироваться и применяться без учета фундаментальных принципов работы человеческого мозга, из-за которых в стрессовой

ситуации у оператора возникают технически значимые ошибки взаимодействия с системой управления. При неправильном понимании работы сигналов и их последующем применении в технологическом процессе, при нештатных ситуациях реакция человека может дать обратную от нужной реакцию, ослабить внимание, что может повлечь необратимые последствия, как и для предприятия, так и для жизни человека.

Можно различить основные виды получения информации мозгом человека:

- 1) Визуальный канал;
- 2) Акустический канал;
- 3) Тактильный канал.

Визуальный сигнал должен преодолеть сенсорный порог и привлечь внимание. К параметрам визуального канала следует отнести цветовой контраст, временную модуляцию и размещение.

Цветовой контраст прописан в ГОСТ 12.4.026–2015 про сигнальные цвета. Контрастность основана на цветовой модели CIE XYZ. Данная модель считается эталонной, она помогает определить взаимосвязь между видимым спектром и цветовым зрением человека. Самым главным фактором является использование цветов, которые будут максимально удалены друг от друга.

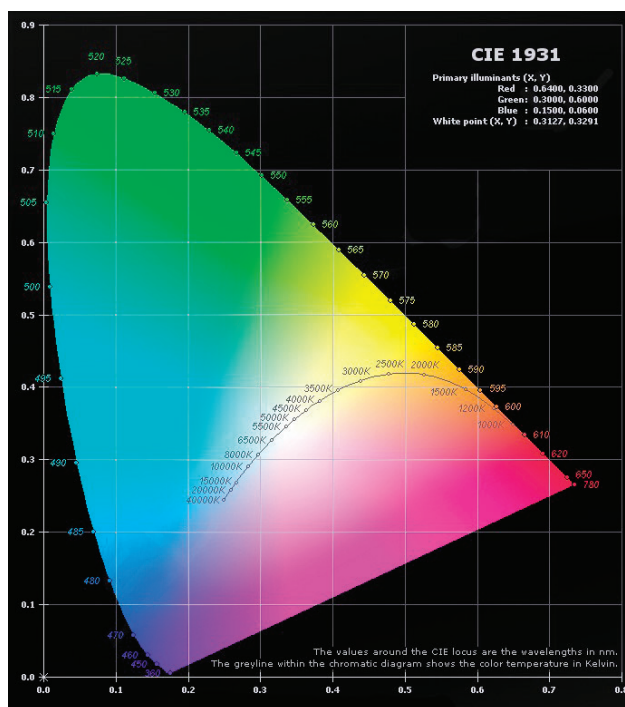


Рис. 1. Модель CIE XYZ

Координаты для аварийного красного приблизительно ( $x=0.67$ ,  $y=0.33$ ) и фоновое серого ( $x=0.31$ ,  $y=0.33$ ). Данное расположение обеспечивает максимальную контрастность, что помогает привлечь внимание к опасности.

На практике примером цветовой контрастности будет считаться кнопка аварийной остановки оборудования, огнетушители, знаки как «Работать в защитной каске» и «Запрещено прикасаться. Опасно».



Рис. 2. Примеры цветовой контрастности

Временная модуляция или попросту мигание — это последовательное включение и выключение визуального сигнала. Оптимальная частота для активации нейронов и привлечения внимания составляет 2–3 Гц. Отношение импульса и паузы рекомендовано 1:1, то есть

время включения света и выключения должны быть равным. Световые сигналы должны быть ярче окружающего фона.

Примером могут послужить аварийные маяки на станках, пожарная сигнализация, огни по периметру зон.

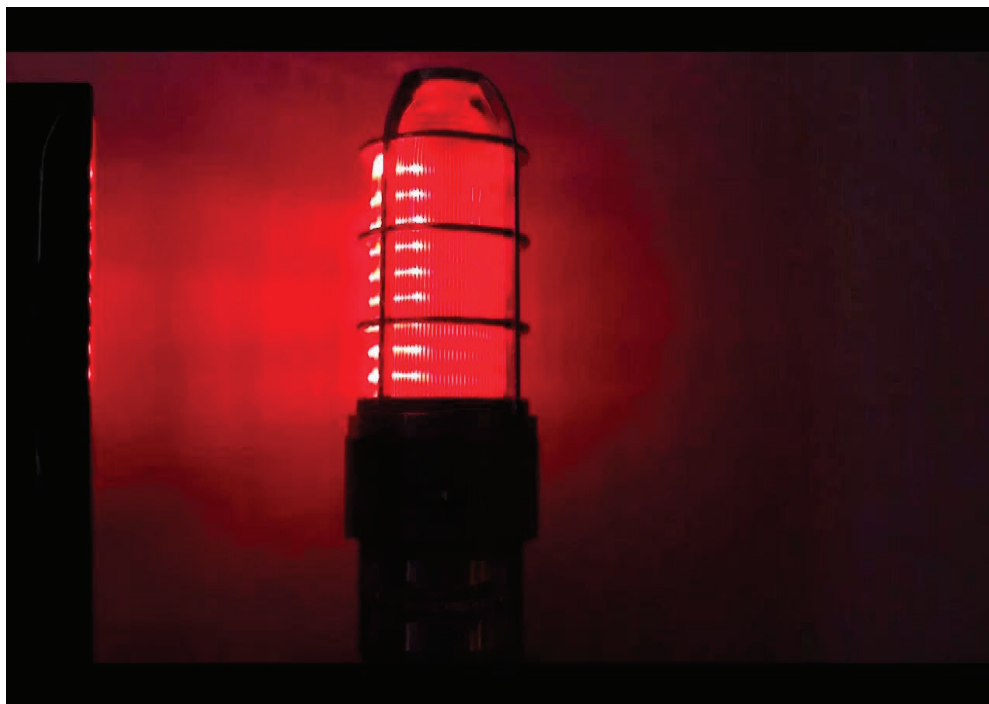


Рис. 3. Сигнальная лампа

В интерфейсах программ также можно наблюдать визуальные сигналы. На экране высвечиваются пиктограммы и анимации, которые снижают нагрузку на мозг при мысленном моделировании. Однако стоит учесть, что постоянная анимация недопустима, ведь это может снизить активности в зрительной коре, и она перестанет восприниматься как значимый сигнал.

Однако ни цветовая контрастность, ни мигание не будут эффективны, если их расположение не будет непосредственно в рабочей зоне. Сигнал должен быть виден из любой точки. Критические параметры, которые определяют безопасность (давление, уровень, температура), должны быть вынесены в отдельную фиксированную, всегда видимую зону на дисплее, вне зависимости от данной мнемосхемы. При условии большого количества сотрудников в зоне, количество визуальных сигналов так же должно быть увеличено. Только в таком случае предупреждение может быть замечено, и человек сможет предпринять действия.

Задача акустического сигнала быть обнаруженным в условиях производственного шума.

В ГОСТ 71934–2025 обозначен стандарт диапазона частот, он начинается от 200 Гц до 5000 Гц, с пиком в области от 800 Гц до 1500 Гц, где чувствительность слуха максимальна, при этом производственный шум будет ниже. Требуемое отношение сигнала к шуму принимается равным 15 дБ, данное значение помогает звуку сиг-

нала об аварийной опасности быть услышанным и обнаруженным в ситуациях стресса оператора. Длительность цикла составляет от 0,5 до 6,0 с. Все критерии должны быть выполнены для восприятия сигнала.

Но просто звуковых сигналов, например писк или гудение, будет недостаточно. Они смогут привлечь внимание, однако могут способствовать только появлению стресса или паники, что ухудшит реакцию оператора. Для лучшего понимания аварийной ситуации следует использовать их в совокупности с речевыми синтезированными сообщениями, система должна производить первичный анализ и выдавать оператору несколько ключевых причинно-следственных связей или гипотез, которые снижают когнитивную нагрузку и время на анализ ситуации. В стрессовой ситуации способность различать речь сохраняется намного дольше, чем способность чтения. Сообщения должны быть краткими и в повелительном наклонении. Пример: «Пожарная тревога! Всем сотрудникам покинуть здание!».

Тактильный канал зачастую игнорируется, однако именно он независим от загрузки каналов, как визуальный или слуховой.

Тактильные сигналы также координируют действия оператора. Ими выступают и тактильные конусы для обозначения опасных участков, например, края платформы, и встроенный модуль в кресло оператора, которое дает сигнал при критической аварии в области поясницы



длинной и нарастающей вибрацией, и вибробраслеты при работе с прессом.

Однако использование мономодального сигнала, только визуального или только звукового, не сможет обеспечить гарантированную реакцию на аварийную ситуацию, а также будет являться принципиальной проектной ошибкой с высоким процентом риска катастрофических последствий.

В состоянии стресса оператор может просто не заметить визуальный сигнал, его внимание может быть сосредоточено на других вещах, например интерфейс программы или документ. В остром стрессе внимание сужается, а сигнал, находящийся за полем внимания, будет проигнорирован. Аналогично может быть не услышан акустический сигнал из-за банального разговора по телефону или концентрации на определенной задаче. Канал получения информации будет заблокирован.

Фактор помех среды, таких как солнечный луч или блик, загрязнения из-за пыли и грязи на табло или лампе, шумная работа оборудования так же могут быть препятствием к получению сигнала.

Нельзя полагать на идеальное состояние сенсорных систем оператора все время. Именно тут свое применение находят мультимодальные системы сигнала аварийной ситуации.

В том случае, когда два или более сигналов от одного и того же события поступают по разным каналам одновременно с минимальной задержкой менее 200 мс, они обрабатываются в мультисерийных нейронах, что снижает вероятность пропуска. Реакция нейронов становится выше, чем на каждый сигнал по отдельности. Именно использование мультимодальных сигналов справляется с когнитивными блокировками. Если визуальный канал оператора перегружен, то сработает тактильный или акустический, и наоборот, повышается шанс к рефлекторному привлечению внимания и более быстрому обнару-

жению, а следовательно, и действий, и своевременной реакции на нештатную ситуацию.

Также для предотвращения аварийных ситуаций на производстве необходимо применять системы, служащие для поддержки принятия решений на основе модели и прогнозирующей аналитики. Вместо предъявления оператору сырых данных система постоянно в фоновом режиме производит расчёт и затем отображает интегральные показатели (например, «остаток времени до срабатывания предохранителя», «запас топлива до предельно допустимого значения»), что позволяет человеку проводить только смысловую оценку, а не сами трудоёмкие расчеты. Кроме этого на предприятии для прогнозирования аварии могут быть созданы «цифровые двойники», которые по команде оператора на основе текущих данных будут производить моделирование развития ситуации на некоторое количество минут вперёд, при этом рассматривая несколько альтернативных способов управления, результатом является сравнительная оценка рисков, позволяющая преодоление ригидности мышления.

### Заключение

Нейрокогнитивные ограничения оператора в аварийной ситуации являются не только психологическими проблемами, но и техническими факторами риска, влияющие на развитие инцидента. Ошибки, зависящие от понижения внимания, процессов принятия решений и памяти, обязаны покрываться при проектировании человеко-машинного интерфейса и алгоритмов поддержки. Из этого следует, что из задачи, обеспечить безопасность технической системы, следует исключить «человеческий фактор» как источник ошибок и прийти к проектированию технических сред, которые позволяют компенсировать нейрокогнитивные ограничения человека, неизбежные в экстремальных ситуациях.

### Литература:

1. Венда В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М.: Машиностроение. 1990. С. 448
2. Леонова А. Б., Кузнецова А. С. Психологические технологии управления состоянием человека. Смысл. 2009. С. 311
3. ГОСТ 12.4.0262015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний // Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — Введ. 20170301. — М.: Стандартинформ, 2016. С. 27–29
4. ГОСТ Р 719342025. Системы тревожной сигнализации. Системы оповещения при угрозе совершения или совершении террористического акта. Общие технические требования. Методы испытаний // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Введ. 20250301. — М.: Российский институт стандартизации, 2025. С. 2–3
5. ГОСТ Р ИСО 11064–1–2014. Эргономическое проектирование центров управления. Часть 1. Принципы проектирования // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Введ. 2016–01–12. — М.: Стандартинформ, 2014. С. 3
6. Боровков А. И., Рябов Ю. А., Марусева В. М. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2019. — Т. 12, № 1. — С. 7–21.

## Военно-транспортная авиация иностранных государств

Жаналин Михаил Сергеевич, студент;  
Мельников Константин Сергеевич, студент  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

*В статье исследуются ключевые типы и технические параметры военно-транспортной авиации зарубежных государств. Особое значение придается самолету Ил-76, который широко используется в качестве стратегического транспортного средства. Рассматриваются современные аналоги данного воздушного судна, их функции в обеспечении стратегической мобильности вооруженных сил, а также их практическое применение в различных военных и гуманитарных миссиях. Выполняется анализ основных направлений развития военно-транспортной авиации с учетом современных вызовов и угроз.*

**Ключевые слова:** военно-транспортная авиация, Ил-76, стратегический транспортник, международные аналоги, вооруженные силы, грузовые самолеты, гуманитарные миссии, тактический транспорт, модернизация, экспорт.

### Введение

Военно-транспортная авиация выполняет значимую функцию в обеспечении мобильности и оперативного развертывания вооруженных сил зарубежных государств. Она обеспечивает транспортировку личного состава, вооружения и техники, а также участвует в выполнении гуманитарных и спасательных операций. В контексте современной геополитической обстановки развитый парк транспортных самолетов представляет собой важный компонент национальной обороны и исполнения международных обязательств. В настоящей статье представлен обзор наиболее известных зарубежных моделей военно-транспортных самолетов, их технических параметров и практической значимости. [1, с. 15]

### Основные виды военно-транспортной авиации

Военно-транспортная авиация подразделяется на тактическую и стратегическую. Задачей тактической авиации является доставка грузов и личного состава на относительно небольшие и средние дистанции в пределах оперативных районов, в то время как стратегическая авиация сконцентрирована на обеспечении перевозок на значительные расстояния. [1, с. 198].

Тактические транспортные самолеты включают легкие и средние модели, такие как C-130 Hercules (США) и Airbus A400M (Европа). Эти самолеты отличаются высокой маневренностью и возможностью выполнения десантных операций [5, с. 567].

Стратегические транспортники — это крупные самолеты, способные перевозить тяжелую технику и крупногабаритные грузы на большие расстояния. Среди них наиболее известен Ил-76 и его модернизированные версии [4, с. 657].

### Технические характеристики и описание Ил-76

Ил-76 — один из наиболее массовых и универсальных военно-транспортных самолетов в мире. Разработанный в СССР в 1970-х годах, он активно эксплуатируется не только в России, но и в ряде зарубежных стран.

#### Технические параметры Ил-76:

- Длина: 46,6 м;
  - Размах крыльев: 50,5 м;
  - Высота: 14,76 м;
  - Масса взлетная: около 210 тонн;
  - Максимальная скорость: 850 км/ч;
  - Практический потолок: 12 000 м;
  - Дальность полета: до 4 000 км с полной загрузкой;
  - Грузоподъемность: 20 тонн внутри салона или 42 тонны на внешней подвеске;
  - Экипаж: 6 человек.
- Возможности и применение
- Ил-76 способен выполнять широкий спектр задач:
- перевозка грузов и личного состава;
  - десантные операции;
  - медицинская эвакуация;
  - ведение специальных миссий (например, воздушное командование, радиоэлектронная разведка) [7, с. 65].

Модернизированные версии Ил-76МД-90А отличаются повышенной дальностью и грузоподъемностью, а также возможностью оснащения современными системами.

### Международные аналоги и их особенности

Помимо Ил-76, в мире широко используются другие крупные стратегические транспортные самолеты:

- C-130 Hercules (США): тактический грузовой самолет, широко используемый для десантных операций и гуманитарных миссий. Обладает высокой мобильностью и возможностью взлета и посадки на коротких полосах.
- A400M Atlas (Европа): современный стратегический транспортник, способный перевозить тяжелое вооружение, технику и крупногабаритные грузы на большие расстояния с высокой скоростью.
- KB-135 (Китай): аналог Ил-76, предназначенный для стратегических перевозок в составе ВВС Китая.

Эти самолеты отличаются по грузоподъемности, дальности и техническим характеристикам, однако все они являются важной составляющей национальной обороны [6, с. 85].

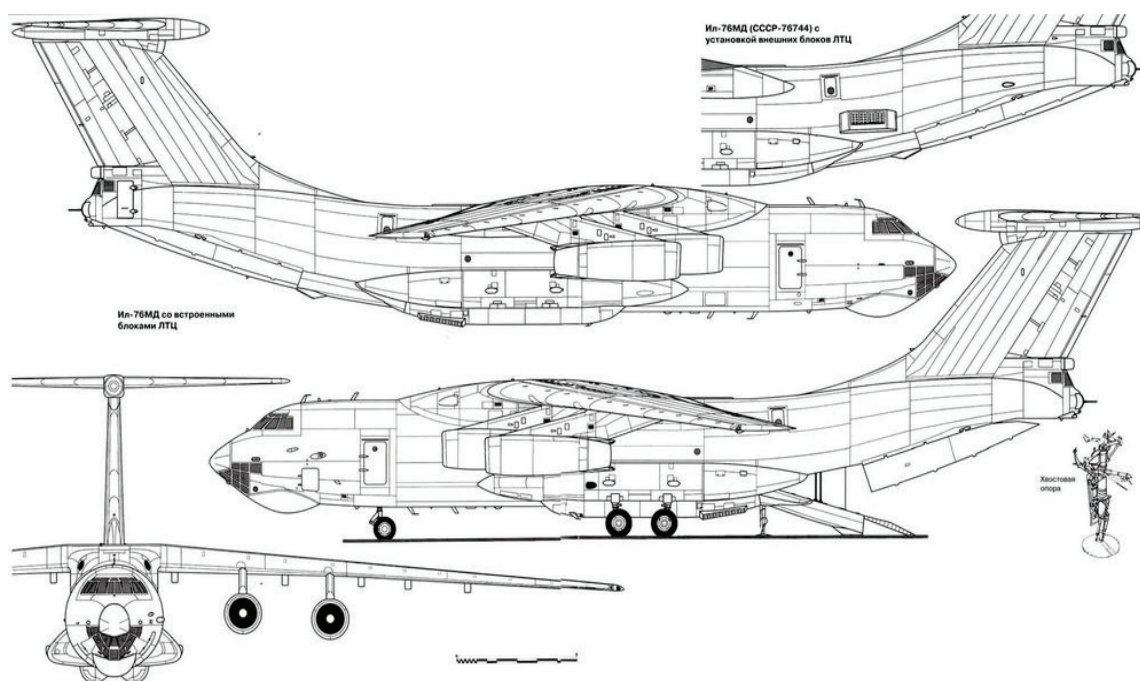


Рис. 1. Ил-76

### Роль и значение военно-транспортной авиации

Военно-транспортная авиация обеспечивает ключевые возможности для проведения боевых и гуманитарных операций:

- быстрое развертывание войск и техники в районах конфликта;
- проведение эвакуаций и гуманитарных миссий в зонах стихийных бедствий;
- поддержка миротворческих операций и международных учений;
- наличие собственной мощной транспортной авиации позволяет странам быть независимыми в реализации стратегических задач и повышает их международный авторитет.

### Перспективы развития

Развитие военно-транспортной авиации в настоящее время происходит за счет внедрения ряда новых техно-

логий, среди которых выделяются автоматизация процессов, применение современных материалов и двигателей, а также разработка multifunctional платформ. В дальнейшем прогнозируется рост дальности полета и грузоподъемности, а также расширение спектра решаемых задач, включая интеграцию беспилотных систем. [9, с. 420].

### Заключение

Военно-транспортная авиация зарубежных стран представляет собой значимый элемент национальной системы обороны и международных операций. В данном контексте следует отметить Ил-76, характеризующийся как универсальная платформа для стратегических перевозок. Модернизация и развитие этих воздушных судов способствуют повышению оперативной мобильности войск, а также расширяют потенциал для реагирования на кризисные ситуации и выполнения гуманитарных задач.

### Литература:

1. Военно-транспортная авиация зарубежных стран. И. Кудишина, В. Ильина. Издание: Астрель, АСТ, 2001 — 192 с.
2. Борисов, В. В. Аббревиация и акронимия. Военные и научно-технические сокращения в иностранных языках / В. В. Борисов. — М.: Военное издательство, 2008. — 320 с.
3. Брусенцев, Н. А. Военно-морская авиация / Н. А. Брусенцев. — М.: Воениздат, 1976. — 284 с.
4. Бюллетень Окружного Совета Всеармейского военно-охотничьего общества Дальневосточного военного округа. — М.: Хабаровск: Суворовский натиск, 1984. — 988 с.
5. Бюллетень Окружного Совета Всеармейского военно-охотничьего общества Туркестанского Военного Округа. — М.: Ташкент: Министерство Обороны СССР, 1988. — 731 с.
6. Бюллетень Окружного Совета Всеармейского военно-охотничьего общества Туркестанского Военного Округа. — М.: Ташкент: Министерство Обороны СССР, 1998. — 919 с.

7. Бюллетень Окружного Совета Всеармейского военно-охотничьего общества Туркестанского Военного Округа. — М.: Ташкент: Министерство Обороны СССР, 2016. — 782 с.
8. Наставление по службе штабов соединений и частей ВВС. Воениздат, 1990 г., 437 с.
9. Общая тактика. Учебник. Воениздат, 1985 г., 389 с.
10. Климин А. В. Реактивная транспортная авиация. — М., 2009. — 463 с.

## Совершенствование технологий штукатурных работ

Казаков Кирилл Андреевич, студент магистратуры

Научный руководитель: Селезнева Жанна Владимировна, кандидат экономических наук, доцент

Самарский государственный технический университет

*В статье рассмотрены ключевые направления совершенствования технологии штукатурных работ в современном строительстве. Проведён сравнительный анализ традиционных и инновационных методов нанесения штукатурных покрытий, включая механизированное оштукатуривание, безмаячные технологии с применением BIM-моделирования и перспективы использования 3D-печати. Выявлены преимущества автоматизированных систем, такие как повышение производительности труда, снижение себестоимости и повышение качества отделочных работ. Особое внимание уделено интеграции цифровых инструментов в процесс оштукатуривания и их влиянию на эффективность строительного производства.*

**Ключевые слова:** штукатурные работы, механизированная штукатурка, *bim*-технологии, безмаячная технология, 3d-печать в строительстве, эффективность, производительность, качество

Штукатурные работы являются одним из наиболее трудоёмких и ответственных этапов в строительстве и отделке зданий. Именно от качества оштукатуривания во многом зависят долговечность, тепло- и звукоизоляционные характеристики ограждающих конструкций, а также эстетический вид готового помещения. Традиционные ручные методы нанесения штукатурки, несмотря на их широкую распространённость, характеризуются высокой зависимостью от квалификации рабочих, значительной трудоёмкостью и длительными сроками выполнения.

Современные вызовы строительной отрасли — ускорение темпов возведения объектов, дефицит квалифицированных кадров и ужесточение требований к качеству отделки диктуют необходимость поиска и внедрения новых, более эффективных технологических решений. Целью исследования является комплексный анализ существующих перспективных методов совершенствования технологии штукатурных работ, направленных на повышение производительности, снижение себестоимости и улучшение качества конечного продукта.

Классический процесс оштукатуривания поверхностей, выполняемый вручную, включает в себя несколько последовательных этапов: подготовку основания (очистка, грунтование), установку маячковых профилей, послойное нанесение раствора (обрызг, грунт, накрывка), его разравнивание и финишную затирку.

Несмотря на кажущуюся простоту, ручной метод обладает рядом существенных недостатков, которые ограничивают его применение на современных масштабных объектах:

1. Низкая производительность. Бригада штукатуров вручную способна обработать в среднем 30–40 м<sup>2</sup> поверх-

ности за рабочую смену, что для больших площадей обобщается значительными временными затратами.

2. Зависимость от человеческого фактора. Качество итогового покрытия напрямую связано с опытом и добросовестностью мастера. Усталость, спешка или недостаточная квалификация приводят к неровностям, перепадам плоскости и другим дефектам, требующим последующего исправления.

3. Высокая вероятность брака. Распространёнными дефектами являются усадочные трещины, отслоения и дутики, возникающие из-за неправильного приготовления раствора, несоблюдения технологии нанесения или ускоренной сушки покрытия.

Эти факторы в совокупности ведут к увеличению сроков строительства, перерасходу материалов и, как следствие, к росту общей стоимости работ.

В ответ на указанные ограничения строительная отрасль активно внедряет инновационные подходы, которые можно условно разделить на несколько ключевых направлений.

Наиболее зрелым и широко применяемым на сегодняшний день решением является механизированное (машинное) нанесение штукатурных смесей. Технология основана на использовании специализированных штукатурных станций, которые автоматически замешивают раствор и подают его под давлением через шланг к месту нанесения.

Основные этапы технологического процесса механизированной штукатурки:

1. Приготовление раствора в штукатурной станции. Автоматическое дозирование воды и сухой смеси, тщательное перемешивание до однородной консистенции.



2. Подготовка поверхности основания. Очистка от пыли и грязи, грунтование для улучшения адгезии, установка маячковых профилей и монтаж защитных элементов на окна и двери.

3. Нанесение и разравнивание слоёв. Подача готового раствора под давлением через шланг к соплу, равномерное нанесение на стену и последующее выравнивание правилом по маякам.

4. Финишная обработка. После частичного схватывания раствора выполняется затирка поверхности с помощью губчатых или войлочных тёрки для устранения мелких неровностей и придания гладкости (глянцевание).

Ключевые преимущества механизированного метода:

1. Высокая производительность. При использовании станции бригада из двух человек может обработать от 70

до 110 м<sup>2</sup> за смену, а в отдельных случаях — до 250 м<sup>2</sup>, что в 3–4 раза превышает показатели ручного труда.

2. Стабильно высокое качество. Автоматическое дозирование компонентов обеспечивает однородную консистенцию раствора, а подача под давлением — его лучшее сцепление с основанием и равномерное заполнение всех неровностей.

3. Экономическая эффективность. Сокращение сроков работ и снижение расхода материалов (до 10–15 %) за счёт точной дозировки обеспечивает общее снижение стоимости обработки 1 м<sup>2</sup> до 20 % по сравнению с ручным способом.

Параллельно с совершенствованием методов нанесения происходит развитие и самих штукатурных составов. Правильный выбор материала является не менее важным фактором, определяющим конечное качество и долговечность покрытия.

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных типов штукатурных смесей

Характеристика	Цементная	Гипсовая	Полимерная
Основа	Портландцемент и песок	Строительный гипс	Акриловые или силиконовые смолы
Прочность	Высокая, до 10–15 МПа	Средняя, 2–5 МПа	Высокая, эластичная
Влагостойкость	Высокая, подходит для влажных помещений и фасадов	Низкая, не переносит прямого контакта с водой	Высокая, водоотталкивающие свойства

Как видно из приведённого описания, универсального решения не существует — выбор конкретного состава должен осуществляться на основе анализа условий эксплуатации и требований к покрытию.

Следующим этапом совершенствования штукатурных работ является их интеграция с цифровыми технологиями. Одним из перспективных направлений является безмаячная технология «мокрой» штукатурки с использованием BIM-проектирования.

Суть метода заключается в отказе от традиционных металлических маяков в пользу инновационной рамочной оснастки, положение которой в пространстве выверяется с помощью лазерного оборудования и цифровой модели здания (BIM). Это позволяет:

1. Снизить себестоимость работ на 23–30 % за счёт экономии на материалах (маяках) и сокращения трудозатрат.

2. Сократить технологическую трудоёмкость на 22 %.

3. Повысить точность калькуляции и управления ресурсами на всех этапах жизненного цикла объекта благодаря интеграции с BIM-моделью.

Данная технология демонстрирует высокий ресурсосберегающий потенциал и является ярким примером того, как цифровизация способна оптимизировать традиционные строительные процессы.

В качестве наиболее инновационного и долгосрочного тренда в совершенствовании штукатурных работ следует рассматривать применение аддитивных технологий, в частности, 3D-печати.

Автоматизация процесса нанесения штукатурки с помощью строительных 3D-принтеров открывает принципиально новые возможности:

1. Высочайшая точность и скорость. Принтеры способны наносить материал с микронной точностью, работая круглосуточно и без снижения производительности.

2. Минимизация отходов. Благодаря точному дозированию и отсутствию «человеческого фактора» перерасход материала сводится к минимуму.

3. Реализация сложной геометрии. Технология позволяет создавать криволинейные поверхности и сложные архитектурные элементы, которые невозможно или крайне трудоёмко выполнить традиционными методами.

Несмотря на то, что сегодня данная технология находится на этапе становления и требует дальнейшего совершенствования оборудования и материалов, её потенциал для трансформации всей отрасли отделочных работ огромен.

Проведённый анализ показывает, что совершенствование технологии штукатурных работ в современном строительстве идёт по пути комплексной автоматизации и цифровизации. Традиционные ручные методы, несмотря на свою доступность, постепенно уступают место более производительным и качественным решениям.

Ключевыми направлениями развития на сегодняшний день являются:

1. Механизированная штукатурка, которая уже стала отраслевым стандартом для объектов с большими площа-



дями, обеспечивая 3–4-кратное увеличение производительности и значительное повышение качества.

2. Безмаячные технологии с интеграцией BIM, позволяющие достичь существенной экономии ресурсов и повысить точность выполнения работ.

3. Разработка и внедрение новых материалов, в частности, полимерных составов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

4. Перспективное использование 3D-печати, способной в будущем коренным образом изменить представление о процессе оштукатуривания.

Дальнейшее совершенствование штукатурных работ будет неразрывно связано с развитием цифровых инструментов проектирования, управления и контроля, что в итоге, приведёт к созданию полностью интегрированных и высокоэффективных строительных процессов.

#### Литература:

1. Шаленный В. Т., Замша О. Н., Таджиев А. Ш. Сущность, эффективность и перспективы развития безмаячной технологии «мокрой» штукатурки с использованием BIM-проектирования и строительства // Строительный журнал АСА. — 2025.
2. Механизированная штукатурка стен: материалы, технологии и преимущества // РБК Компании. — URL: <https://companies.rbc.ru/news/wU1WBHTwWQ/mehanizirovannaya-shtukaturka-sten-materialyi-tehnologii-i-preimuschestva/>
3. Ручная или механизированная штукатурка: что выгоднее бизнесу и заказчику // РБК Компании. — URL: <https://companies.rbc.ru/news/MgSR85I9Pk/ruchnaya-ili-mehanizirovannaya-shtukaturka-cto-vyigodnee-biznesu-i-zakazchiku/>
4. Какая штукатурка для внутренних работ лучше: честный разбор смесей, составов и назначений // Saray.ru. — URL: <https://saray.ru/blog/sovety-ekspertov/kakaya-shtukaturka-dlya-vnutrennikh-rabot-luchshe-chestnyy-razbor-smesey-sostavov-i-naznacheniy/>
5. Цементная, гипсовая или полимерная штукатурка: в чём разница и что выбрать? // Novatorstroy.com. — URL: [https://novatorstroy.com/press-relizy/cementnaya-gipsovaya-ili-polimernaya-shtukaturka-v-chyom-raznica-i-cto-vybrat/?srsltid=AfmBOoru-GBNZ6ad7UqiTec7fx7eHwpMxWagIpmPfRdJ98H\\_ZDDvVzDI](https://novatorstroy.com/press-relizy/cementnaya-gipsovaya-ili-polimernaya-shtukaturka-v-chyom-raznica-i-cto-vybrat/?srsltid=AfmBOoru-GBNZ6ad7UqiTec7fx7eHwpMxWagIpmPfRdJ98H_ZDDvVzDI)
6. Использование 3D-печати для штукатурных работ // Отделка 58. — URL: <https://отделка58.пф/ispolzovanie-3d-pechati-dlya-shtukaturnyh-rabot-2/>

## Микропластик в молочных продуктах: источники, аналитические вызовы и потенциальные риски для здоровья

Лукин Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

*В статье рассматривается проблема загрязнения молочных продуктов микропластиком (МП) — частицами размером менее 5 мм, формирующимися в результате разрушения более крупных пластиковых объектов. Описаны основные источники попадания МП в молочные продукты на всех этапах производства и упаковки, включая использование пластикового оборудования и упаковки, а также возможное загрязнение через воду. Подчёркивается, что сложный состав молочной матрицы затрудняет обнаружение и количественную оценку микропластика, а отсутствие стандартизированных методов анализа приводит к расхождениям в научных данных. Обсуждаются потенциальные риски для здоровья человека, связанные с попаданием МП в организм, включая механические повреждения, транспорт токсичных веществ и возможное развитие воспалительных и окислительных процессов. Отмечается необходимость дальнейших исследований для оценки масштабов загрязнения и разработки мер по снижению рисков.*

**Ключевые слова:** микропластик, молочные продукты, загрязнение пищевых продуктов, аналитические методы, риски для здоровья, упаковка, токсичные вещества, общественное здоровье.

За последние десятилетия масштабное производство и применение пластика вызвало его повсеместное накопление в окружающей среде. Более крупные пластиковые объекты постепенно разрушаются, образуя микропластик (МП) — частицы размером менее 5 мм, которые

теперь обнаруживаются в морских, пресноводных, почвенных и даже атмосферных системах. Первоначально научный интерес к МП был сосредоточен на водных экосистемах, однако сегодня исследования охватывают и различные пищевые продукты, демонстрируя, что ми-

кропластик присутствует не только в природе, но и в человеческой пищевой цепи. В этом контексте молочные продукты занимают особое место, поскольку они являются важным источником питательных веществ (белков, жиров, витаминов и минералов) и широко употребляются населением во всем мире.

Процесс производства молочных продуктов включает множество технологических этапов, каждый из которых может стать потенциальным источником попадания МП. Продукты, такие как молоко, йогурт, сыр и масло, подвергаются пастеризации, гомогенизации, фильтрации, созреванию и упаковке, где контакт с пластиковыми элементами оборудования неизбежен [1]. Само оборудование и его компоненты, изготовленные из пластика, в процессе эксплуатации могут выделять микрочастицы вследствие механического истирания или химической деградации. Кроме того, широко используемая пластиковая упаковка (например, Tetra Pak, бутылки из полиэтилена, полимерные пленки) также может служить источником МП, не только во время фасовки, но и в течение всего периода хранения продукта [2–4]. Микропластик выступает не только как физический загрязнитель, но и как возможный носитель химических добавок (фталатов, бисфенолов), которые могут мигрировать в молочные продукты. Дополнительным фактором риска является использование воды, которая может быть загрязнена МП, на различных стадиях — от обработки сырья до обслуживания животноводческих комплексов.

Исследования, такие как работы Diaz-Basantes M. F. и др. (2020) и Chakraborty T. K. и др. (2024), подтвердили наличие МП в различных видах молока, указывая на возможность загрязнения на множественных этапах производственной и логистической цепи [5,6]. Однако сложный состав молочных продуктов создаёт дополнительные трудности для точного обнаружения и количественной оценки МП [7]. Молочная матрица, состоящая из жиров, белков, углеводов и микроэлементов, может взаимодействовать с частицами микропластика, маскируя их или

изменяя их свойства, что осложняет аналитические процедуры [1]. Отсутствие единых стандартизированных методов анализа для молочных продуктов приводит к значительным различиям в сообщаемых данных о концентрациях МП. Например, результаты Buyukunal S. K. и др. (2023) по йогурту [8] и Zhang Q. и др. (2023) по сухому молоку [9] могут отличаться вследствие разных подходов к подготовке образцов, методов идентификации и пределов обнаружения.

Микропластик обладает способностью сорбировать тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители и другие вредные химические вещества из окружающей среды. При попадании в организм такие насыщенные загрязнителями частицы могут вызывать механическое повреждение желудочно-кишечного тракта и способствовать абсорбции токсичных соединений. Исследование Sox K. D. и др. (2019) показало, что микрочастицы, особенно наноразмерные, могут проникать через кишечный барьер и накапливаться в тканях, что вызывает серьёзные опасения относительно их долгосрочного системного воздействия. Это воздействие может включать провоцирование воспалительных реакций, генерацию активных форм кислорода и развитие окислительного стресса, которые связаны с возникновением сердечно-сосудистых заболеваний, нейродегенеративных расстройств и некоторых видов рака [10].

Учитывая высокую популярность молочных продуктов среди всех возрастных групп и их питательную ценность, понимание масштабов загрязнения МП становится важнейшей задачей общественного здоровья. Без полных данных о наличии, концентрации и характеристиках микропластика в молочных продуктах потребители не могут оценить уровень своего потенциального воздействия и связанные с ним риски. Однако текущие научные работы часто ограничиваются исследованием лишь небольшого перечня продуктов — преимущественно жидкого молока, йогурта и сухого молока, оставляя многие другие популярные молочные продукты без внимания.

#### Литература:

1. Characterization of microplastics in skim-milk powders / E. Visentin, C. L. Manuelian, G. Niero [и др.]. — Текст: непосредственный // J. Dairy Sci. — 2024. — № 8. — С. 5393–5401.
2. Microplastics in branded milk: dietary exposure and risk assessment / B. Basaran, Z. Ozçifçi, H. T. Akca, Ü. Aytan. — Текст: непосредственный // J. Food Compos. Anal. — 2023. — № 123. — С. 105611.
3. Microplastics in raw milk samples from the Marmara region in Turkey / Zipak Rbaibi, S., Muratoglu [и др.]. — Текст: непосредственный // Journal of Consumer Protection and Food Safety. — 2024. — С. 1–12.
4. Branded milks—are they immune from microplastics contamination? / G. Kutralam-Muniasamy, F. P´erez-Guevara, I. Elizalde-Martínez, V. C. Shruti. — Текст: непосредственный // Sci. Total Environ. — 2020. — № 714. — С. 136823.
5. Diaz-Basantes, M. F. Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants / M. F. Diaz-Basantes, J. A. Conesa, A. Fullana. — Текст: непосредственный // Sustainability. — 2020. — № 14. — С. 5514.
6. Microplastics in the commercially available branded milk in Bangladesh: an emerging threat for human health / T. K. Chakraborty, M. J. Hasan, B. N. Netema [и др.]. — Текст: непосредственный // J. Hazard Mater. — 2024. — С. 135374.
7. Hasan, G M M A Determination of heavy metals in raw and pasteurized liquid milk of Bangladesh to assess the potential health risks / G M M A Hasan, M. H. Kabir, M A S Miah. — Текст: непосредственный // Food Res. — 2022. — № 6 (1). — С. 233–237.

8. Buyukunal, S. K. Microplastics in a traditional Turkish dairy product: ayran / S. K. Buyukunal, Z. S. Rbaibi, K. Muratoglu. — Текст: непосредственный // Pol. J. Food Nutr. Sci. — 2023. — № 2. — С. 139–150.
9. Microplastics in infant milk powder / Q. Zhang, L. Liu, Y. Jiang [и др.]. — Текст: непосредственный // Environ. Pollut. — 2023. — С. 121225.
10. Human consumption of microplastics / K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies [и др.]. — Текст: непосредственный // Environ. Sci. Technol. — 2019. — № 12. — С. 7068–7074.

## Оценка загрязнения микропластиком молочной продукции: методы, показатели и риски для здоровья

Лукин Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент  
Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск)

*В статье рассмотрены современные подходы к оценке загрязнения молочной продукции микропластиком (МП). Описаны ключевые показатели, такие как фактор загрязнения (CF), индекс нагрузки загрязнения (PLI), индекс неметрического загрязнения (NPI), индекс полимерной опасности (PHI), а также методы расчёта предполагаемого суточного потребления МП для различных возрастных групп. Особое внимание уделено анализу разнообразия микропластика по физическим и полимерным характеристикам с помощью индексов Симпсона (SDI) и интегрального индекса разнообразия (DII). Представленные методики позволяют объективно оценить степень загрязнения, выявить потенциальные риски для здоровья и разработать стратегии по снижению воздействия микропластика через молочные продукты.*

**Ключевые слова:** микропластик, молочная продукция, фактор загрязнения, индекс нагрузки загрязнения, индекс полимерной опасности, предполагаемое суточное потребление, разнообразие микропластика, оценка риска.

### Показатели загрязнения микропластиком (МП)

Для определения степени загрязнения микропластиком молочной продукции применяются такие метрики, как фактор загрязнения (CF), индекс нагрузки загрязнения (PLI), индекс загрязнения по Немерову (NPI) и индекс полимерной опасности (PHI). Эти показатели необходимы для оценки возможных угроз здоровью и формирования стратегий по снижению негативного воздействия.

**Фактор загрязнения (CF)** позволяет установить уровень загрязнения в каждой отдельной пробе, сравнивая фактическую концентрацию МП с фоновым значением.

Это соотношение выражается формулой (1) [1]:

$$CF = \frac{Арх}{Врх} \quad (1)$$

где:

- Арх обозначает измеренное количество частиц МП,
- Врх — фоновую концентрацию МП.

Значения CF распределяются по категориям: низкий ( $CF < 1$ ), средний ( $1 < CF < 3$ ), значительный ( $3 < CF < 6$ ) и крайне высокий ( $CF > 6$ ).

Молочные продукты выступают в качестве среды, через которую происходит поступление загрязнений МП из окружающей среды. Для оценки общей нагрузки загрязнения сначала рассчитывается коэффициент концентрации для каждого образца по уравнению (2), а затем на его основе (CF<sub>i</sub>) определяется PLI (уравнение (3)) [2].

$$CF_i = \frac{C_i}{C_0} \quad (2)$$

$$PLI = \sqrt{CF_i} \quad (3)$$

где:

- C<sub>i</sub> — обозначает концентрацию микропластика в пробе,
- C<sub>0</sub> — минимальное среднее содержание МП в продуктах переработки, составляющее 1,68 н/кг [3].

Для интерпретации значений **индекса загрязнения (PLI)** используются критерии категорий опасности нагрузки МП-загрязнения, установленные Ху Р. и др. (2018) [4] и Lin Q. и др. (2022) [5]. Согласно PLI, уровни риска классифицируются так: PLI >10 (Риск I), >20 (Риск II), >30 (Риск III) и >40 (Риск IV).

**Индекс неметрического загрязнения (NPI)**, рассчитываемый по формуле (4), определяет класс качества на основе степени распространённого загрязнения. Данный метод даёт обоснованное объяснение совокупного присутствия токсикантов в каждой точке отбора проб, поскольку на каждую такую точку может влиять комбинация различных вредных веществ. NPI представляет собой интегральный показатель загрязнения, учитывающий как средний коэффициент загрязнения (CF), так и максимальный CF, зафиксированный в образце.

$$NPI = \sqrt{\frac{CF^2 + CF_{\max}^2}{2}} \quad (4)$$

Для исследуемых микропластиков (МП) средний показатель фактора загрязнения обозначается как CF, а его максимальное значение в образце — как CF<sub>max</sub> [6]. Индекс NPI классифицирует уровень загрязнения: NPI <0,7 (безопасный), 0,7–1,0 (требуется внимания), 1,0–2,0 (слабое загрязнение), 2,0–3,0 (умеренное загрязнение) и >3,0 (сильное загрязнение).

Далее, **индекс полимерной опасности (PHI)** рассчитывается по формуле (5):

$$PHI_x = \sum \frac{Trx}{Arx} \times Qy \quad (5)$$

где:

- Trx обозначает содержание конкретного полимерного материала МП в пробе,
- Qy — показатель полимерного риска согласно определению Лигнера и соавт. (2011) [7]. Индекс PHI классифицируется следующим образом: PHI <10 (Низкий I), 10–100 (Умеренный II), 101–1000 (Значительный III) и 1001–10000 (Высокий IV).

### Оценка предполагаемого суточного потребления

Воздействие частиц МП через пищу оценивается путем расчета предполагаемого суточного потребления (EDI, выраженного в МП/(кг × день)) для двух возрастных групп — детей и взрослых. Формула для расчета (уравнение (6)) основана на данных Линга и др. (2024) [8]:

$$EDI = \frac{\rho \times U}{BW} \quad (6)$$

где:

- $\rho$  — концентрация частиц МП на единицу обработанного пищевого продукта (МП/кг).
- U — норма потребления данного продукта на человека (кг/день).

В этом контексте U обозначает рекомендованное ежедневное потребление различных продуктов переработки. Средняя масса тела (BW) принимается равной 50 кг для взрослых и 15 кг для детей [9]. Согласно данным Международной организации молочной промышленности за 2020 год, потребление молока составляет 0,219 кг в день на человека.

### Индекс разнообразия

Разнообразие физических характеристик частиц МП, таких как размер, форма, цвет и тип полимеров, в образцах молочной продукции оценивается с помощью индекса разнообразия Симпсона (SDI) (уравнение (7)) и интегрального индекса разнообразия (DII) (уравнение (8)).

SDI вычисляется по формуле:

$$SDI = 1 - \sum \left( \frac{Pi}{P} \right)^2 \quad (7)$$

где:

- Pi — количество объектов, обладающих i-м свойством МП (например, определенной формой, размером, цветом или полимером),
- P — общее количество частиц МП.

Интегральный индекс DII объединяет разнообразие по всем изученным свойствам и рассчитывается следующим образом:

$$DII = \sqrt[4]{\text{Size SDI} \times \text{Shape SDI} \times \text{color SDI} \times \text{polymer SDI}} \quad (8)$$

Значения SDI и DII варьируются в пределах от 0 до 1, причем чем ближе показатель к единице, тем выше разнообразие [10].

#### Литература:

1. Dietary exposure and risk assessment of plastic particles in cow's milk stored in various packaging materials / A. Binelli, M. Tognetto, C. Cremonesi [и др.]. — Текст: непосредственный // J. Hazard Mater. — 2025. — № 492. — С. 138052.
2. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index / D. L. Tomlinson, J. G. Wilson, C. R. Harris, D. W. Jeffrey. — Текст: непосредственный // Helgol. Meeresunters. — 1980. — № 33 (1). — С. 566–575.
3. Fadare, O. O. Microparticles and microplastics contamination in African table salts / O. O. Fadare, E. D. Okoffo, E. F. Olasehinde. — Текст: непосредственный // Mar. Pollut. Bull. — 2021. — № 164. — С. 112006.
4. Microplastic risk assessment in surface waters: a case study in the Changjiang Estuary, China / P. Xu, G. Peng, L. Su [и др.]. — Текст: непосредственный // Mar. Pollut. Bull. — 2018. — № 133. — С. 647–654.
5. Potential risk of microplastics in processed foods: preliminary risk assessment concerning polymer types, abundance, and human exposure of microplastics / Q. Lin, S. Zhao, L. Pang [и др.]. — Текст: непосредственный // Ecotoxicol. Environ. Saf. — 2022. — № 247. — С. 114260.
6. Receptor model-based source apportionment and ecological risk of metals in sediments of an urban river in Bangladesh / R. Proshad, T. Kormoker, M. A. Al [и др.]. — Текст: непосредственный // J. Hazard Mater. — 2022. — С. 127030.
7. Lithner, D. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition / D. Lithner, Å. Larsson, G. Dave. — Текст: непосредственный // Sci. Total Environ. — 2011. — № 18. — С. 3309–3324.
8. Identification and visualization of polystyrene microplastics/nanoplastics in flavored yogurt by raman imaging / X. Ling, J. Cheng, W. Yao [и др.]. — Текст: непосредственный // Toxics. — 2024. — № 5. — С. 330.
9. Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh / G. C. Ghosh, M. J. H. Khan, T. K. Chakraborty [и др.]. — Текст: непосредственный // Sci. Rep. — 2020. — № 10 (1). — С. 5206.
10. Using Simpson's diversity index to examine multidimensional models of diversity in health professions education / J. E. McLaughlin, G. W. McLaughlin, J. S. McLaughlin, C. Y. White. — Текст: непосредственный // Int. J. Med. Educ. — 2016. — С. 1.

## Прогнозирование отказов механических систем с помощью искусственного интеллекта

Микаелян Костан Эдуардович, студент

Научный руководитель: Максудова Насима Адгамовна, кандидат технических наук, доцент  
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова (Узбекистан)

*В данной работе рассматриваются современные подходы к прогнозированию отказов механических систем с использованием методов искусственного интеллекта в условиях цифровизации промышленности. Раскрывается сущность отказов, их основные причины и стадии развития, а также особенности изменения диагностических параметров, таких как вибрация, температура и другие эксплуатационные характеристики оборудования.*

Отказ механической системы представляет собой событие, при котором она утрачивает способность выполнять заданные функции в установленных пределах параметров. Однако важной особенностью является то, что большинство отказов развивается постепенно, проходя через стадии зарождения дефекта, его развития и перехода в предаварийное состояние. Эти процессы сопровождаются изменением диагностических параметров, таких как вибрация, температура, акустические характеристики и другие эксплуатационные показатели. Например, при работе подшипников наблюдается постепенный рост ви-

брации, связанный с износом дорожек качения или появлением микрповреждений, и именно такие изменения могут служить ранними признаками будущего отказа.

Методы искусственного интеллекта позволяют выявлять скрытые закономерности в изменении этих параметров и использовать их для прогнозирования. В основе таких систем лежит обработка больших объемов данных, поступающих с датчиков, и построение моделей машинного обучения, способных обучаться на исторических данных эксплуатации. Эти данные включают как нормальные режимы работы, так и состояния, предше-



ствующие отказам. В результате модель формирует зависимость между текущими параметрами системы и вероятностью ее выхода из строя, что позволяет не только обнаруживать аномалии, но и оценивать остаточный ресурс оборудования.

Особую роль в прогнозировании играют методы анализа временных рядов и нейронные сети, которые способны учитывать динамику изменения параметров во времени. В отличие от классических аналитических подходов, основанных на строгих физических моделях, методы машинного обучения позволяют строить эмпирические модели, адаптирующиеся к реальным условиям эксплуатации. Например, обученная модель может определить, что текущий уровень вибрации и характер его изменения соответствуют стадии развития дефекта, и спрогнозировать отказ за определенное время до его фактического наступления, что дает возможность своевременно провести техническое обслуживание и избежать аварии.

Процесс прогнозирования часто иллюстрируется с помощью графиков, отражающих как физические изменения параметров, так и результаты работы интеллектуальных моделей. График роста вибрации показывает постепенное увеличение уровня колебаний: на начальном этапе система работает стабильно, затем появляются небольшие отклонения, свидетельствующие о зарождении дефекта, после чего наблюдается ускоренный рост вибрации, соответствующий стадии развитого повреждения, и, наконец, резкое увеличение, предшествующее отказу. В свою очередь, график вероятности отказа, формируемый моделью искусственного интеллекта, демонстрирует переход от практически нулевой вероятности в нормальном состоянии к резкому увеличению по мере выявления аномалий и достижению значений, близких к единице, в предаварийной стадии. Таким образом, происходит преобразование физических параметров в количественную оценку риска отказа.

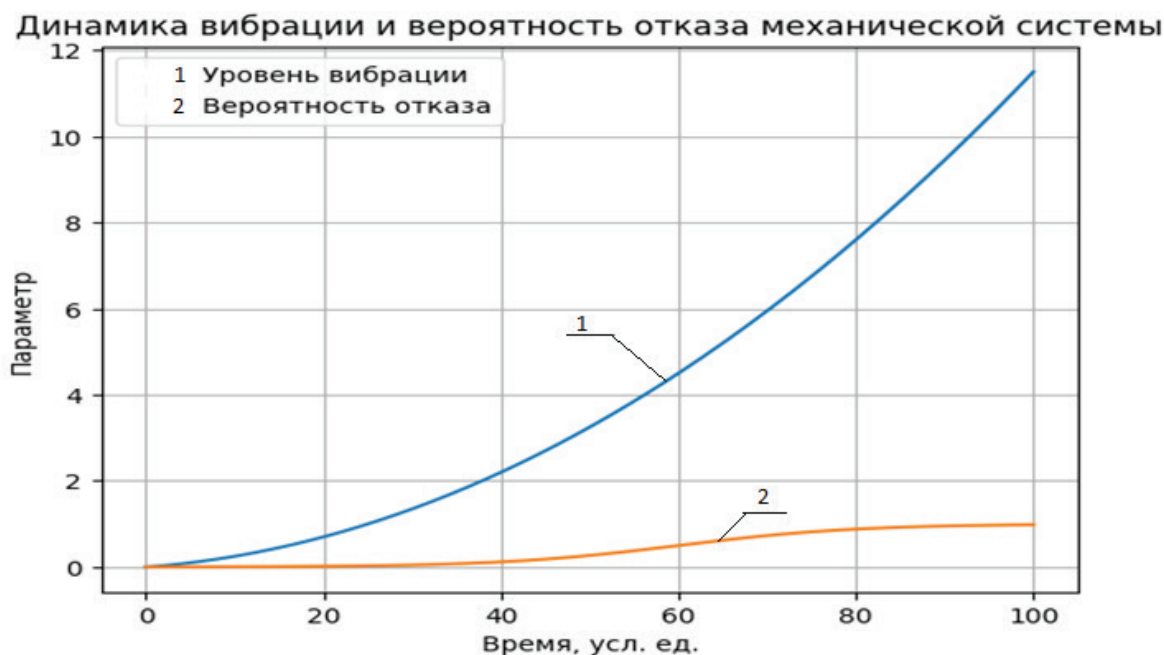


Рис. 1. На графике представлена зависимость уровня вибрации и вероятности отказа от времени

Кривая вибрации отражает физический процесс деградации системы и демонстрирует постепенный рост параметра по мере развития дефекта.

Кривая вероятности отказа, полученная с использованием модели искусственного интеллекта, показывает увеличение риска отказа по мере выявления аномалий в данных. Резкий рост вероятности соответствует переходу системы в предаварийное состояние.

Кривая 1 линии графика — это **уровень вибрации механической системы**, то есть реальный физический параметр, измеряемый датчиками. Она отражает процесс износа оборудования во времени. В начальный момент кривая почти горизонтальная, что соответствует нормальному режиму работы без дефектов. По мере эксплуатации

наблюдается постепенный рост вибрации — это свидетельствует о появлении микрповреждений, усталости материала или нарушений в работе узлов (например, подшипников). На завершающем этапе кривая резко возрастает, что указывает на развитый дефект и приближение отказа. Таким образом, эта линия показывает **физическую деградацию системы**.

Кривая 2 линии графика — это **вероятность отказа**, рассчитанная моделью искусственного интеллекта на основе анализа данных. В отличие от вибрации, это не измеряемый напрямую параметр, а результат обработки информации. В начале графика вероятность близка к нулю, так как система функционирует нормально и модель не обнаруживает отклонений. Затем, по мере изменения

параметров (в том числе роста вибрации), модель начинает фиксировать аномалии, и вероятность отказа постепенно увеличивается. В определённый момент наблюдается резкий рост кривой — это означает, что система переходит в предаварийное состояние. В конце вероятность стремится к единице, что указывает на практически неизбежный отказ. Таким образом, эта линия отражает **прогноз, сформированный системой искусственного интеллекта**, и показывает оценку риска выхода оборудования из строя.

Практическое применение технологий прогнозирования отказов охватывает широкий спектр отраслей промышленности:

- в энергетике они используются для контроля состояния турбин, генераторов и насосного оборудования, позволяя предотвращать аварийные остановки.

- в машиностроении системы предиктивной диагностики применяются для мониторинга станков и инструментов, что способствует повышению качества продукции и снижению издержек.

- в авиационной отрасли искусственный интеллект используется для анализа состояния двигателей и конструктивных элементов, обеспечивая высокий уровень безопасности за счет раннего выявления дефектов

Аналогичные подходы находят применение в транспортных системах, нефтегазовой промышленности и других областях, где надежность оборудования имеет критическое значение.

Использование искусственного интеллекта для прогнозирования отказов позволяет перейти от реактивной и планово-предупредительной стратегии обслуживания к более эффективной предиктивной модели, основанной на фактическом состоянии оборудования. Это дает возможность существенно снизить затраты на ремонт, минимизировать простои, повысить коэффициент технической готовности и продлить срок службы машин и механизмов. Кроме того, интеллектуальные системы способны функционировать в режиме реального времени, обеспечивая непрерывный мониторинг и оперативное принятие решений.

Вместе с тем внедрение таких технологий связано с рядом сложностей. Одной из основных проблем является необходимость накопления большого объема качественных и репрезентативных данных, отражающих

различные режимы работы оборудования, включая предаварийные состояния. Существенное значение имеет правильный выбор моделей и методов обучения, так как ошибки на этапе разработки могут привести к недостоверным прогнозам. Дополнительные трудности связаны с интеграцией интеллектуальных систем в существующую инфраструктуру предприятий и необходимостью подготовки специалистов, обладающих знаниями как в области инженерной механики, так и в области анализа данных и машинного обучения.

Таким образом, прогнозирование отказов механических систем с помощью искусственного интеллекта представляет собой перспективное направление развития современной инженерной диагностики. Применение интеллектуальных методов позволяет не только контролировать текущее состояние оборудования, но и предсказывать его будущее поведение, что обеспечивает повышение надежности, безопасности и эффективности эксплуатации технических систем

### Заключение

В заключение следует отметить, что применение искусственного интеллекта для прогнозирования отказов механических систем представляет собой качественно новый этап развития технической диагностики и эксплуатации оборудования. В отличие от традиционных подходов, ориентированных на фиксирование уже возникших неисправностей, методы искусственного интеллекта позволяют выявлять скрытые закономерности в изменении эксплуатационных параметров и заблаговременно определять вероятность наступления отказа. Это обеспечивает переход к предиктивной стратегии обслуживания, основанной на фактическом состоянии системы.

Практическое внедрение таких систем способствует снижению аварийности, уменьшению простоев, оптимизации затрат на ремонт и повышению общей надежности механических систем.

Таким образом, использование искусственного интеллекта в задачах прогнозирования отказов позволяет существенно повысить эффективность и безопасность эксплуатации технических систем, обеспечивая их устойчивую и надежную работу в долгосрочной перспективе.

### Литература:

1. Deep Learning / Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. — MIT Press, 2016. <https://www.deeplearningbook.org/>
2. Machine Learning / Tom M. Mitchell. — McGraw-Hill, 1997. <http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html>
3. Pattern Recognition and Machine Learning / Christopher M. Bishop. — Springer, 2006. <https://www.microsoft.com/en-us/research/people/cmbishop/prml-book/>
4. Техническая диагностика машин и оборудования / Б. Н. Ананьев. — М.: Машиностроение, 2008. <https://search.rsl.ru/ru/record/01003361464>

## Негативное влияние повышенной температуры на изоляцию элементов возбуждателей электрических генераторов и применение геотермальных ресурсов для повышения эффективности охлаждения технологического оборудования АЭС

Нефедов Валерий Сергеевич, студент магистратуры  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

*В статье рассматривается механизм деградации изоляции, вызванный повышенной температурой. Анализируется влияние перегрева на адгезию и целостность изоляционного слоя. Подчеркивается, что термическое старение является основной причиной сокращения ресурса работы оборудования, и обосновывается необходимость строгого контроля температурных режимов для обеспечения надежности и безопасности эксплуатации АЭС. Также рассматриваются перспективы использования геотермальных ресурсов как альтернативного источника для повышения эффективности систем охлаждения технологического оборудования на атомных электростанциях (АЭС). Анализируются существующие проблемы, связанные с традиционными методами охлаждения, и предлагаются подходы к интеграции геотермальных технологий.*

**Ключевые слова:** термическая деградация изоляции, возбуждатель, атомная электростанция, термическое старение, диэлектрические свойства, геотермальные ресурсы, охлаждение АЭС, тепловые насосы, энергоэффективность, техническое водоснабжение.

## The negative impact of elevated temperatures on the insulation of exciter elements of electric generators and the use of geothermal resources to improve the cooling efficiency of NPP process equipment

*The article discusses the mechanism of insulation degradation caused by elevated temperature. The effect of overheating on the adhesion and integrity of the insulation layer is analyzed. It is emphasized that thermal aging is the main reason for reducing the service life of equipment, and the need for strict control of temperature conditions to ensure the reliability and safety of NPP operation is substantiated. Also the article considers the prospects of using geothermal resources as an alternative source to improve the efficiency of cooling systems for process equipment at nuclear power plants (NPPs). The existing problems associated with traditional cooling methods are analyzed and approaches to integrating geothermal technologies are proposed.*

**Keywords:** thermal degradation of insulation, exciter, nuclear power plant, thermal aging, dielectric properties, geothermal resources, NPP cooling, heat pumps, energy efficiency, technical water supply.

Элементы электромагнитных возбуждателей, являющихся основным оборудованием в системе генерации и регулирования мощности турбогенераторов на атомных электростанциях, функционируют в условиях значительных тепловых нагрузок, что создает серьезные проблемы для надежности электрической изоляции. Одним из наиболее критических факторов, определяющих надежность и долговечность данных устройств, является термическая деградация электрической изоляции. Повышенная температура, возникающая вследствие загрязнения воздухоохладителей возбуждателей и высоких температур охлаждающей воды возбуждателя, оказывает кумулятивное негативное воздействие на свойства изоляционных материалов, что в конечном итоге может привести к серьезным нарушениям в работе всего энергетического блока [1].

Повышение температуры электроизоляционных материалов ускоряет термоокислительные реакции в ней. Данные реакции приводят к разрыву макромолекулярных цепей, изменению химической структуры и, как следствие, к потере его механической прочности, эластичности и ди-

электрических свойств [2]. Постепенное снижение тангенса угла диэлектрических потерь и пробивного напряжения является прямым следствием этих процессов. Нарушение целостности изоляционного слоя может проявляться в виде микротрещин и пористости, которые, в свою очередь, способствуют проникновению влаги и загрязнений, что еще больше усугубляет деградацию.

Термическое старение изоляции подчиняется экспоненциальной зависимости — повышение температуры на каждые 8–10°C приводит к двукратному сокращению срока службы изоляционных материалов. Электрическая прочность изоляции снижается в среднем на 2–4 % на каждые 10°C повышения температуры. Сопротивление изоляции демонстрирует выраженную температурную зависимость, снижаясь по экспоненциальному закону при росте температуры.

Экспериментальные данные показывают критическую зависимость долговечности изоляции от рабочей температуры. При температуре 100°C время жизни изоляции составляет 11,4 года, при 140°C — 83 дня, при 180°C —

около 100 часов. Для изоляции с номинальной рабочей температурой 65°C скорость старения составляет 0,001 % в час при 100°C, увеличиваясь до 0,05 % в час при 140°C и до 1,0 % в час при 180°C.

Проведенный анализ показывает критическую важность строгого контроля за температурным режимом элементов возбудителя для обеспечения высокой надежности и безопасности функционирования АЭС. В условиях жаркого климата и высоких температур наружного воздуха требуется использование современных технологий и новых подходов к поддержанию параметров охлаждающих сред в номинальных значениях. Перспективным направлением видится использование геотермальных теплообменников для снижения температуры охлаждающих сред ниже температур наружного воздуха.

Системы технического водоснабжения АЭС представляют собой критически важные элементы, обеспечивающие безопасную и эффективную работу энергетического оборудования [3]. Современные АЭС потребляют значительные объемы охлаждающей воды, при этом основная доля (до 100 % базового расхода) приходится на конденсацию отработавшего пара турбин [4]. Дополнительные потребители, включая системы охлаждения турбогенераторов (2,5–4,0 %), масляные системы (1,2–2,5 %) и вспомогательное оборудование, создают суммарную нагрузку на систему технического водоснабжения [3].

Особое внимание в этой статье уделяется возбудителям генераторов, надежность работы которых напрямую зависит от эффективности теплоотвода, поскольку повышение рабочих температур приводит к снижению срока службы электротехнического оборудования и может стать причиной выхода из строя и отключения энергоблока [5].

Оборотные системы с градирнями, получившие наибольшее распространение, обладают недостатками. Эффективность башенных градирен существенно зависит от температуры и влажности наружного воздуха [6]. Логически понятно, что градирня не может охладить воду ниже температуры наружного воздуха. А значит в жаркие пе-

риоды, когда температура воздуха превышает +32°C, температура охлаждающей воды превышает номинальные значения и возможны превышения допустимых температурных режимов оборудования [7].

Геотермальная энергетика предоставляет уникальные возможности для модернизации систем охлаждения АЭС благодаря стабильности температурных характеристик подземного теплоносителя [8]. На глубине от 3–5 до 100 метров температура грунта примерно равна средней температуре воздуха для данного региона независимо от сезонных колебаний наружного воздуха. Что, например, для Воронежской области составляет +5...+8°C. Эта особенность позволяет организовать эффективный теплообмен даже в условиях экстремально высоких летних температур.

Предлагаемая система геотермального доохлаждения может быть интегрирована в существующую схему охлаждающей воды на возбудитель по байпасной схеме, что позволит плавно переключаться между различными режимами охлаждения в зависимости от условий эксплуатации. В летний период геотермальная система работает в основном режиме, параллельно с основной. В остальные сезоны находится в резерве, ремонте. Схема может состоять из горизонтальных или вертикальных контуров, размещаемых в непосредственной близости от турбинного здания. Вертикальные скважины глубиной 100–150 метров или горизонтальные контуры, укладываемые на глубине 3–10 метров.

Проведенный анализ показывает, что применение геотермальных доохлаждателей в некоторых системах технического водоснабжения АЭС является перспективным направлением для поддержания заданного температурного режима оборудования.

Дальнейшие исследования и пилотные проекты в этой области позволяют разработать оптимальные схемы интеграции и подтвердить экономическую целесообразность широкого внедрения геотермальных технологий на атомных электростанциях.

#### Литература:

1. Быстрицкий Г., Гасангаджиев Г. Электрооборудование электростанций: генераторы, трансформаторы, лэп 2-е изд., испр. и доп. Учебник для СПО. — Litres, 2025.
2. Коваленко А. С., Власова О. С. Актуальные вопросы оценки пожарной безопасности атомных электростанций //Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. — 2022. — С. 144–148.
3. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982, 440с.
4. Воронин Л. М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС. М.: Атомиздат, 1981. 168с.
5. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. 928с.
6. Калинин Э. К. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408с.
7. Воронин Л. М. Теплообменные аппараты АЭС. М.: Атомиздат, 1980. 312с.
8. Букринский А. М. Аварийные переходные процессы на АЭС с ВВЭР. М.: Энергоатомиздат, 1982. 142с.



## Современные технологии обработки материалов: от субтрактивных методов к интеллектуальному производству

Сазаева Арина Валерьевна, студент;

Айткулова Арина Альбертовна, студент

Елабужский институт Казанского (Приволжского) федерального университета (Республика Татарстан)

*В статье рассматриваются ключевые технологические сдвиги в области обработки металлов, полимеров и композитов. Особое внимание уделено аддитивным технологиям, лазерной обработке, гибридным системам и внедрению концепции Индустрии 4.0. Анализируются преимущества новых методов в контексте экологии, точности и экономической эффективности.*

**Ключевые слова:** высокоскоростная обработка (BCO), пятиосевая обработка, многофункциональные центры, аддитивные технологии. 3D-печать

Промышленное производство XXI века находится в фазе глобальной трансформации. Если на протяжении последних столетий доминировали субтрактивные методы (удаление «лишнего» материала для получения детали), то сегодня акцент смещается в сторону созидательных и высокоэнергетических технологий. Запросы аэрокосмической отрасли, медицины и энергетики требуют создания изделий с уникальными свойствами, которые невозможно получить традиционным литьем или фрезерованием. Современная обработка материалов — это симбиоз физики элементарных частиц, химии полимеров и искусственного интеллекта.

Современные станки с ЧПУ (числовым программным управлением) способны работать на скоростях вращения шпинделя свыше 20 000–40 000 об/мин. Высокоскоростное фрезерование позволяет не только повысить производительность, но и улучшить качество поверхности. Основным физический эффект здесь — отвод тепла вместе со стружкой, что предотвращает термическую деформацию самой детали.

Современные обрабатывающие центры объединяют в себе функции токарного, фрезерного, сверлильного и даже шлифовального станков. Пятиосевые системы позволяют обрабатывать деталь со всех сторон за один установ. Это критически важно для изготовления лопаток турбин или имплантатов, где точность позиционирования измеряется микронами. Использование «цифровых двойников» (Digital Twins) позволяет моделировать процесс обработки в виртуальной среде, исключая риск столкновения инструмента с заготовкой.

Аддитивные технологии: Новая парадигма производства Аддитивное производство — это послойное создание объекта на основе 3D-модели. Это не просто «печать пластиком», а высокотехнологичный процесс обработки металлов и керамики.

В этих процессах мощный лазер сканирует слой металлического порошка, сплавляя частицы между собой. Технология позволяет создавать топологически оптимизированные конструкции. Например, деталь может иметь внутренние пустоты или решетчатые структуры (латисы), которые делают её легче на 40–60 % при сохранении прочностных характеристик.

В отличие от порошковой постели, здесь металлическая нить или порошок подаются непосредственно в зону горения лазерного луча или плазменной дуги. Это позволяет не только выращивать новые детали, но и восстанавливать изношенные элементы дорогих механизмов, например, шейки коленчатых валов или кромки лопаток двигателей [3, с. 64].

### Физико-химические и лучевые методы обработки

Когда механический контакт нежелателен или невозможен из-за твердости материала, применяются методы, основанные на использовании концентрированной энергии.

Лазер стал универсальным инструментом. Современные волоконные и дисковые лазеры используются для:

- Сверхточной резки: исключается термическое влияние на края материала.
- Лазерной очистки: удаление ржавчины и оксидов на молекулярном уровне без химии и абразивов.
- Лазерного упрочнения: создание закаленного поверхностного слоя с сохранением вязкой сердцевины.

Использование струи воды с примесью гранатового песка под давлением до 6000 бар позволяет резать любые материалы толщиной до 20–30 мм. Главное преимущество — полное отсутствие термического воздействия («холодная резка»), что исключает изменение фазового состава металлов и оплавление пластиков.

Метод основан на явлении электрического пробоя в диэлектрической жидкости. Электроэрозия незаменима при работе со сверхтвердыми сплавами, титаном и вольфрамом, позволяя получать отверстия диаметром в человеческий волос и сложнейшие пресс-формы.

Современная обработка — это не только придание формы, но и программирование свойств поверхности.

Нанесение тончайших пленок (нитрид титана, алмазоподобные углеродные покрытия) позволяет увеличить износостойкость инструмента в 5–10 раз. В автомобилестроении это снижает трение в узлах двигателя, существенно сокращая расход топлива и выбросы CO<sub>2</sub>.

Процесс «бомбардировки» поверхности ионами азота или бора меняет кристаллическую решетку верхнего



сложения материала. Это повышает коррозионную стойкость и усталостную прочность деталей, работающих в агрессивных средах (нефтегазовая отрасль, химическая промышленность).

**Гибридные технологии:** Синергия методов Будущее обработки материалов за гибридными системами. Примером служит станок, объединяющий 3D-печать и фрезерование. Робот сначала «наплавляет» черновую форму изделия, а затем прецизионная фреза доводит поверхности до зеркального блеска. Это объединяет свободу дизайна аддитивных технологий и точность субтрактивных методов [2, с. 150].

К гибридным методам также относится ультразвуковое воздействие на инструмент при фрезеровании. Ультразвуковая вибрация снижает силы резания и предотвращает налипание материала на сверло, что критически важно при обработке вязких материалов, таких как титан или композиты.

**Цифровизация и «Умное производство».** Современная технология обработки неотделима от ИТ-инфраструктуры.

— Искусственный интеллект: Алгоритмы анализируют данные с датчиков вибрации и температуры в реальном времени. Если система видит, что фреза начинает затупляться, она автоматически корректирует подачу или сигнализирует о замене, предотвращая брак.

— Интернет вещей: Все единицы оборудования на заводе объединены в сеть. Это позволяет оптимизировать загрузку станков и минимизировать простои.

— Виртуальная и дополненная реальность: Операторы станков используют AR-очки для визуализации подсказок

по наладке оборудования, что сокращает время переналадки в разы.

### Экологический аспект и устойчивое развитие

Современная обработка материалов стремится к «зеленым» стандартам.

1. Сухая обработка: Традиционные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) токсичны и дороги в утилизации. Новые покрытия инструментов и методы минимального количества смазки позволяют минимизировать использование химии.

2. Энергоэффективность: Современные приводы станков возвращают энергию торможения в сеть (рекуперация), а лазерные источники стали в 3–5 раз экономичнее своих предшественников десятилетней давности.

3. Рециклинг: Аддитивные технологии позволяют использовать до 98 % материала, в то время как при традиционной фрезеровке до 70 % металла может уходить в стружку [1, с. 152].

Современные технологии обработки материалов прошли путь от грубого механического воздействия до тонкого управления структурой вещества. Мы наблюдаем конвергенцию физики, цифровых технологий и экологии. Ключевым трендом на ближайшие десятилетия станет кастомизация: переход от массового производства к созданию уникальных, индивидуализированных изделий с минимальными затратами ресурсов. Победу в глобальной конкуренции одержат те производства, которые смогут интегрировать аддитивные методы, интеллектуальное управление и экологическую ответственность в единый технологический цикл.

### Литература:

1. Информационное моделирование в архитектуре и искусстве: область применения и перспективы развития / В. Н. Бабич, А. Г. Кремлев, Е. Ю. Витюк [и др.]. — Екатеринбург: Уральский государственный архитектурно-художественный университет, 2021. — 152 с. — ISBN 978-5-7408-0315-9. — EDN CUOUGU.
2. Дорн, Г. А. Основы цифровых технологий реализации продукции АПК: Учебное пособие / Г. А. Дорн, О. В. Кирилова. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. — 150 с. — ISBN 978-5-98346-084-3. — EDN IFBWDG.
3. Палаткина, Л. В. Основы цифровизации металлургического производства / Л. В. Палаткина. — Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. — 64 с. — ISBN 978-5-9948-4615-5. — EDN DDSTLW.

## Анализ современных подходов к автоматизации исследования структуры и фазового состава жаропрочных никелевых сплавов

Степухов Егор Михайлович, студент магистратуры

Научный руководитель: Федоров Вячеслав Николаевич, доктор технических наук, профессор

Уфимский государственный нефтяной технический университет

*В работе проанализированы современные методы автоматизированного анализа микроструктуры жаропрочных никелевых сплавов, включая классические алгоритмы сегментации и модели глубокого обучения. Выявлены ключевые ограничения: необходимость размеченных обучающих выборок, высокие вычислительные затраты, низкая устойчивость*

классических методов к низкоконтрастным и неоднородным изображениям, а также недостаточная адаптация к специфике микроструктуры сплавов. Обоснована актуальность разработки специализированного программного обеспечения для количественного анализа структуры и фазового состава.

**Ключевые слова:** жаропрочные никелевые сплавы, микроструктура, анализ изображений, компьютерное зрение, машинное обучение, сегментация изображений, фазовый состав, количественный анализ, автоматизация, обработка изображений

## Введение

Жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС) широко применяются в авиационной, энергетической и нефтехимической промышленности [1,2] при изготовлении ответственных элементов газотурбинных установок (ГТУ), работающих на нефтегазопромыслах в условиях широкого диапазона температур и механических нагрузок [1, 2, 3]. Рабочие лопатки ГТУ работают в условиях высоких температур. Эксплуатационные характеристики изделий из ЖНС в значительной степени определяются их структурой и фазовым составом, в частности размерами и формой зёрен, распределением упрочняющих фаз, наличием дефектов, а также степенью структурной неоднородности [3].

Анализ структуры и фазового состава традиционно осуществляется методами оптической и электронной микроскопии с последующей визуальной оценкой изображений специалистом [4, 5]. Однако такой подход обладает рядом существенных недостатков, включая субъективность результатов, высокую трудоёмкость и ограниченную воспроизводимость измерений, особенно при анализе больших массивов изображений.

В этой связи актуальной является автоматизация анализа структурных изображений с использованием методов цифровой обработки изображений и компьютерного анализа. Автоматизированные системы позволяют повысить точность и объективность определения структурных и фазовых параметров, сократить время обработки данных, обеспечить количественную оценку качества получаемых результатов и соответствие результатов требованиям нормативных документов, в том числе ГОСТ 5639–82 [6].

Целью настоящей работы является анализ современных подходов в автоматизации структурных изображений жаропрочных никелевых сплавов, ориентированной на определение размеров зёрен, анализ фазового состава и формирование количественных характеристик структуры (размеры зёрен и распределение зёрен по площади).

В последние годы наблюдается активное внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в различные области науки, включая материаловедение. Как отмечается в современных исследованиях, ИИ позволяет радикально ускорить процессы открытия, синтеза и оптимизации новых материалов [7]. Это достигается за счёт обработки огромных массивов данных, прогнозирования свойств соединений и автоматизации лабораторных процессов.

В материаловедении всё шире применяются методы компьютерного зрения и глубокого обучения для автоматизации анализа микроструктур. В частности, свёрточные нейронные сети (CNN) эффективно выделяют зёрна, фазы и дефекты на изображениях, полученных методами оптической и электронной микроскопии [8]. По данным Плеханова В. И., такой подход не только ускоряет обработку данных, но и повышает точность количественной оценки распределения размеров зёрен и доли фаз [8].

Существующие обзоры [7, 8] подтверждают потенциал ИИ для анализа микроструктур, но не решают ключевых проблем, связанных с жаропрочными никелевыми сплавами. Для ЖНС характерны:

- низкая контрастность между фазами  $\gamma$  и  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ ;
- неоднородность освещения из-за рельефа поверхности;
- сложная дендритная морфология с вариативностью размеров выделений.

Работа Гаррыевой Н. А. и соавторов [7] не предлагает методов обработки изображений, адаптированных под эти особенности, а работа Плеханова В. И. [8] демонстрирует эффективность CNN на сталях, но не доказывает их применимость к ЖНС.

Классические методы цифровой обработки изображений, включающие фильтрацию, пороговую сегментацию (в том числе метод Otsu), морфологические операции и анализ связных областей, остаются широко применяемыми благодаря своей вычислительной эффективности и простоте реализации. Так, для алюминиевых сплавов эти методы демонстрируют высокую точность: ошибка подсчёта зёрен составляет 3,07 %, а точность определения ASTM-размера достигает 99 % [9]. Однако их применение при анализе микроструктуры жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) ограничено рядом факторов, специфичных для данного класса материалов. Эти факторы приводят к снижению устойчивости сегментации и ухудшению точности количественного анализа для ЖНС по сравнению с более простыми микроструктурами [9].

Традиционные методы обработки изображений, такие как Otsu, Adaptive Threshold и Watershed, сталкиваются с серьёзными ограничениями при анализе микроструктур ЖНС. Как отмечается в исследовании Qin et al. [10], авторами была предложена архитектура UNet 3+ для распознавания микроструктур, которая позволила создать базу данных из 33 484 записей по составу и характеристикам  $\gamma'$ -фазы. Модель обеспечивает точный прогноз объёмной доли, среднего размера и распределения выделений  $\gamma'$ ,

что критически важно для оценки механических свойств ЖНС. Хотя методы глубокого обучения (UNet 3+) демонстрируют перспективность для анализа микроструктур ЖНС [10], их применение сопряжено с рядом сложностей:

- необходимостью больших объёмов размеченных данных (до 33 484 записей для обучения [10]);
- высокими требованиями к вычислительным ресурсам;
- ограниченной обобщаемостью на новые типы сплавов или условия обработки.

Эти факторы затрудняют внедрение нейросетевых подходов и машинного обучения в рутинную практику лабораторий и производств.

Ручные методы количественного анализа микроструктур (ASTM E112, E562) страдают от низкой масштабируемости и субъективности [5,6]. В работе Kim et al. [11] предложены цифровые протоколы для ЖНС, сочетающие EBSD и BSESEM с анализом хордовых длин (CLD/ARCLD). Этот подход позволяет автоматически обрабатывать десятки изображений, извлекать физически обоснованные метрики (распределение длин хорд) и учитывать анизотропию зёрен и морфологию  $\gamma'$  фазы. Например, анализ 80 000 хорд выполняется за 6 секунд, что демонстрирует высокую вычислительную эффективность метода [11].

Несмотря на сильные стороны, данный метод имеет ряд ограничений [11]:

- Высокие требования к оборудованию и подготовке (необходим SEM с EBSD-детектором (дорогое оборудование));
- Требуется электрополировка и травление (AG21) для выявления  $\gamma'$ , что может быть недоступно в рутинной практике;

— Зависимость от параметров EBSD (порог разориентации  $5^\circ$  может пропускать малоугловые границы);

— Разрешение 1 мкм/пиксель ограничивает точность для мелких зёрен ( $<10$  мкм);

— Трудоёмкость подготовки образцов (изготовление образцов с учётом термопар, настройка тепловых циклов для разных режимов охлаждения);

— Сложность внедрения: требуются навыки работы с MATLAB и специализированным ПО для EBSD, а также необходимо обучение персонала.

Таким образом, анализ современных подходов показывает, что существующие методы автоматизированной обработки микроструктурных изображений либо ориентированы на использование ресурсоёмких моделей машинного обучения, требующих значительных объёмов размеченных данных и вычислительных ресурсов, либо базируются на классических алгоритмах, чувствительных к качеству исходных изображений и не обеспечивающих устойчивой сегментации сложных микроструктур жаропрочных никелевых сплавов. Кроме того, значительная часть рассмотренных решений не ориентирована на получение количественных характеристик структуры в соответствии с нормативными требованиями и не учитывает специфические особенности микроструктуры ЖНС.

В связи с этим актуальной является задача разработки специализированного программного обеспечения для автоматизированного анализа структуры и фазового состава жаропрочных никелевых сплавов, обеспечивающего адаптацию методов обработки к характеристикам изображений, устойчивость результатов анализа и возможность получения количественных параметров структуры в инженерно значимом виде.

#### Литература:

1. Кишкин С. Т. Создание, исследование и применение жаропрочных сплавов: избранные труды (К 100-летию со дня рождения) / Москва: Наука, — 2006. — 407с.
2. Логунов А. В. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисков газовых турбин / А. В. Логунов, Ю. Н. Шмотин // Москва: ООО «Наука и технология», — 2013. — 256 с.
3. Логунов А. В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков газовых турбин / А. В. Логунов // Москва: ООО «Издательский дом «Газотурбинные технологии», — 2017. — 854с.
4. ASTM A (1996) E112: standard test methods for determining average grain size. In: 1996 Annual book of ASTM standards. West Conshohocken 112:4–20
5. ASTM A (2011) E562–11: standard test method for determining volume fraction by systematic manual point count. In: 2011 Annual book of ASTM standards. West Conshohocken
6. ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
7. Гаррыева Н. А., Оразмырадова Х. П., Хекимов Б. Б., Оразмырадова О. Технология искусственного интеллекта в материаловедении: ускоренное открытие и оптимизация новых материалов // Наука и мировоззрение. — 2024. — С. 1–7.
8. Плеханов В. И. Искусственный интеллект как инструмент решения задач материаловедения // Актуальные вопросы науки. — 2025. — С. 34–37.
9. Katika H., Sen B., Nithin A., Davidson M. J., Bhowmik A. Advanced computer vision algorithm for extraction of microstructural features from BSE images of powder metallurgical microstructures // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2025. — Vol. 140. — P. 3983–4001.
10. Qin Z., Li W., Wang Z., Pan J., Wang Z., Li Z., Wang G., Pan J., Liu F., Huang L., Tan L., Zhang L., Han H., Chen H., Jiang L. Highthroughput characterization methods for Ni-based superalloys and phase prediction via deep learning // Journal of Materials Research and Technology. — 2022. — Vol. 21. — P. 1984–1997.

11. Kim H. N., Iskakov A., Liu X., Kaplan M., Kalidindi S. R. Digital protocols for statistical quantification of microstructures from microscopy images of polycrystalline nickelbased superalloys // Integrating Materials and Manufacturing Innovation. — 2022. — Vol. 11. — P. 313–326.

# АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

## Продольные трещины в многопустотных плитах перекрытия, изготавливаемых на линии безопалубочного формования, и способы устранения

Абайдуллин Динис Рамилевич, студент магистратуры  
Ульяновский государственный технический университет

*Данная статья посвящена дефектам, возникающим при производстве многопустотных плит перекрытия на линии безопалубочного формования. Приведен опыт борьбы с продольными трещинами по рабочей арматуре.*

**Ключевые слова:** дефекты при производстве ЖБИ, трещиностойкость, нарушение технологических процессов, безопалубочное производство, многопустотные плиты перекрытия, продольные трещины.

Производство многопустотных плит перекрытия на линии безопалубочного формования представляет собой изготовление предварительно напряженных плит без использования опалубки. Метод позволяет производить многопустотные плиты перекрытия с высокой прочностью, точностью геометрических параметров и экономичным расходом материалов. Изделия армируются высокопрочной проволокой ВР1400 или канатной арматурой. Стенд, на котором происходит укладка бетонной смеси, подогревается до определенной температуры нагревательными элементами для обеспечения ускорения набора прочности изделий. Пустоты образуются за счет специальных пуансонов.

Технология безопалубочного формования широко применяется в строительстве для производства плит перекрытий, которые используются в жилых и общественных зданиях. Преимущество изготовления многопустотных плит таким способом состоит в том, что длина изделий может быть любой вплоть до 12,0 м. с любым шагом нарезки. Производство плит типа ПБ несомненно более экономически выгодно по сравнению с плитами типа ПК. Безопалубочная технология изготовления плит перекрытия предусматривает длинные стенды (от 100м), что значительно увеличивает выработку предприятия-изготовителя.

Однако, любое производство требует проработки существующей технологии под имеющиеся производственные мощности. На одном и том же оборудовании разные предприятия могут производить изделия с применением своих технологических особенностей. Непосредственное влияние оказывают качество и вид поставляемого сырья. В каждом регионе материалы различны по своему составу и свойствам и соответственно технологический процесс может отличаться. Исследуя данную технологию, специалисты часто сталкиваются с проблемами разного характера. Это могут быть продольные или поперечные трещины в изделиях, «заплывшие» пустоты, непроформовка отдельных частей изделий, проскальзывание рабочей арматуры. Любой вид брака требует анализа и составления статистических данных. Один и тот же вид брака на разных производствах может иметь разные коренные причины.

Одним из наиболее распространенных видов дефектов является образование трещин с раскрытием более 0.5 мм. Такая проблема в той или иной мере затрагивает почти 90 % производителей плит перекрытия. Трещины по рабочей арматуре влекут за собой ее проскальзывание. Как правило, дефект такого характера хаотичен, может быть выявлен не на всей производственной линии, а только на отдельных ее участках. Путем статистических данных основными причинами таких дефектов могут являться как недостаточное уплотнение бетонной смеси, так и качество проволоки и исходного сырья. Нарушения технологии изготовления изделий встречаются реже. При возникновении дефектов необходимо установить и устранить причины. Выпуск некондиционной продукции при применении безопалубочной технологии обходится очень дорого, так как затрагивает весь стенд целиком. Для установления причины брака необходимо поэтапно проверять каждое из имеющихся предположений.

На фото (рис.1) представлен пример непроформовки «юбки» плиты перекрытия, обнаруженный на всех производственных стендах одновременно.





Рис. 1. Непроформовка «юбки» плиты перекрытия

Опытным путем было установлено, что в схемах с частым армированием происходит недоуплотнение бетонной смеси. Этот недостаток проявлялся после распила производственной линии. Такой дефект может иметь несколько другое расположение трещины. Трещины в зависимости от схемы армирования могут выходить вверх на торец кромки. {рис.2}



Рис. 2. Вариации продольных трещин по «юбкам» плит перекрытий

Одним из способов устранения такого вида брака может служить доработка оборудования. На приведенных примерах было предложено провести эксперимент по переносу нижнего пучка армирования на 5 мм вверх для обеспечения возможности лучшего уплотнения путем увеличения защитного слоя в пределах допустимых норм, руководствуясь технической нормативной документацией. {1, табл.2, 3}.

В ходе переработки фартука {рис.3} были сформированы новые отверстия, обеспечивающие защитный слой до арматуры в 25 мм.

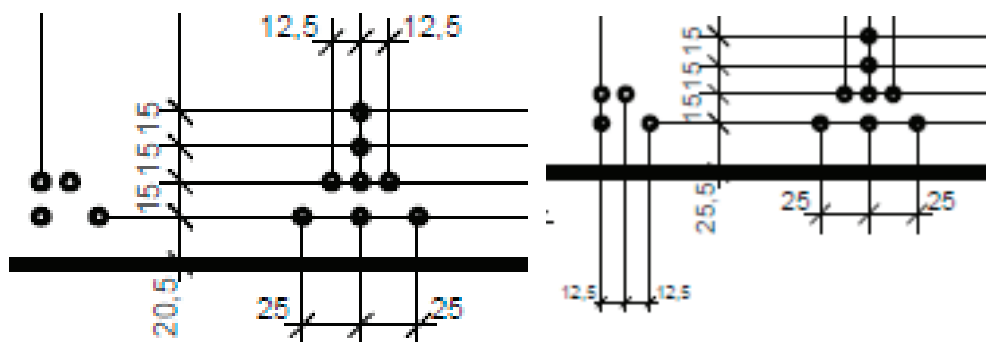


Рис. 3. Переработка фартука путем перемещения нижнего пучка арматуры на 5 мм вверх

Изначально в проектной документации был указан минимально-допустимый защитный слой в 20 мм. Руководствуясь [1, табл.2,3] допуск на расхождение защитного слоя в большую сторону составляет 10 мм.

При переделке формирующего оборудования был достигнут следующий результат: недоуплотнение «ушло». Корректировки способствовали обеспечению возможности более качественного уплотнения бетонной смеси в зоне частого армирования. Важное замечание: при корректировке любого технологического процесса либо непосредственно самого оборудования, требуется провести испытания (путем нагружения штучными грузами) изделий с выдачей соответствующего заключения о возможности применения такого способа формовки изделий.

Из всего вышеперечисленного можно сделать следующие выводы: дефекты снижают прочность, надежность и безопасность изделий. Для предотвращения последствий необходимо своевременно выявлять и устранять дефекты, а также осуществлять регулярный технический осмотр и обслуживание оборудования, проводить входной контроль качества сырья и полуфабрикатов, руководствоваться нормативными документами, соблюдать технологические процессы на производстве.

#### Литература:

1. ГОСТ 13015–2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства», табл.2, 3
2. Ерышев В. А., Учет усадочных деформаций и напряженное состояние арматуры и бетона при трещинообразовании Латышева Е. В., Латышев Д. И. Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2011. № 14. С. 191–198.
3. Ильина Л. В., Дьякова К. С. Трещинообразование в бетоне и железобетоне. Способы повышения трещиностойкости Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2022. Т. 25. № 3/4 (85/86). С. 13–21.
4. Коньжов К. В. Трещинообразования в железобетонных конструкциях. В сборнике: XXVIII Всероссийский аспирантско- магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. Материалы докладов. В 3-х томах. Казань, 2024. С. 264–267.
5. Шнайдер В. А. Предупреждение дефектов железобетона и сохранение его физико-механических свойств в период хранения. В сборнике: Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития. Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции. Уфа, 2022. С. 238–242.

## Испытание железобетонных многопустотных плит перекрытия, изготовленных на линии безопалубочного формования

Вахрушева Наталья Аркадьевна, студент магистратуры  
Ульяновский государственный технический университет

*В статье рассмотрены технические характеристики железобетонных преднапряженных многопустотных плит перекрытия, изготовленных на линии безопалубочного формования. Рассмотрена методика испытаний изделий.*

**Ключевые слова:** испытания железобетонных изделий, безопалубочное формование, штучные грузы, плиты типа ПБ, преднапряженные плиты перекрытия.

В последние годы многопустотные плиты перекрытия, изготовленные на линиях безопалубочного формования, становятся всё более популярными благодаря своей высокой прочности, легкости и экономической эффективности. В то же время в условиях современного строительства, где существует постоянное стремление к снижению расходов и оптимизации процессов, внедрение новых технологий и материалов становится ключевым фактором повышения конкурентоспособности предприятия.

Но при этом следует помнить, что любые нововведения как в технологическом процессе при изготовлении железобетонных элементов, так и в качественном составе бе-

тонной смеси влекут за собой испытание производимых железобетонных элементов. Завод-изготовитель обязан выпускать продукцию, которая должна строго соответствовать проектным решениям и другой нормативно-технической документации.

Железобетонные многопустотные предварительно напряженные плиты перекрытий стендового безопалубочного формования армируются канатами стальными арматурными 1х7 (К7) класса K1500 либо высокопрочной проволокой класса ВР1400, шириной 500–1500мм, высотой поперечного сечения до 220 мм. Плиты перекрытий предназначены для использования в перекрытиях и покрытиях

жилых, общественных и производственных зданий с несущими стенами из кирпича или крупных блоков, а также в каркасных сборно-монолитных и панельных зданиях, возводимых в обычных условиях строительства. Для изготовления плит предусмотрен тяжелый бетон классов В25, В30, В35 и В40 по прочности на сжатие по ГОСТ 26633–2015.

Испытания опытных образцов плит следует производить в соответствии с ГОСТ 8829–2018 на нагрузки, приведенные проектной организацией в рабочих чертежах. Марки плит для проведения испытаний следует согласовывать с авторами проекта. При испытании опытных образцов прочность бетона плит должна быть не выше прочности, соответствующей проектному классу. В противном случае данные будут некорректными. Периодические испытания плит нагружением штучными грузами проводятся для контроля прочности, жесткости и трещиностойкости. Такие испытания обязательны:

- перед началом массового производства изделий;
- при внесении конструктивных изменений в плиты;
- при изменении технологии изготовления;
- при корректировке состава бетона;
- при возникновении нестандартных ситуаций при производстве (ослабление армирования, ошибка в составе бетонной смеси, поломка оборудования).

Для плит ПБ нагрузочные испытания проводятся даже при серийном производстве, в отличие от некоторых других типов плит.

При подготовке к испытаниям, необходимо пройти ряд согласований. При выборе изделия для испытания, нужно получить одобрение в выборе от проектной организации. Плита перекрытия на испытания подбирается в зависимости от номенклатуры, часто выпускаемой на предприятии-изготовителе. Учитываются и нюансы в составах бетонной смеси. Начальник производственной лаборатории принимает непосредственное участие в выборе и подборе состава.

Перед началом испытания элемента, необходимо приготовить нагрузки и расчетную схему. Рекомендации по нагрузкам по первой и второй группе предельных состояний как правило указывается проектной организацией в общих данных рабочей документации. Опираемость испытываемого изделия на шарнирные опоры должно осуществляться через стальные плиты, симметрично расположенные относительно оси опоры. {1, с.8}. На опорные плиты перед установкой на них испытываемого изделия должен быть уложен выравнивающий слой цементного раствора, прочность которого должна быть достаточной для восприятия нагрузки на опорах {1, с.8}. При использовании штучных грузов в ходе испытаний, необходимо заранее проработать вопрос расположения этих грузов таким образом, чтобы была обеспечена равномерность нагружения конструкции. При расположении штучных грузов оставляется зазор, равный 50–100 мм для обеспечения прогиба испытываемого изделия в ходе процесса.

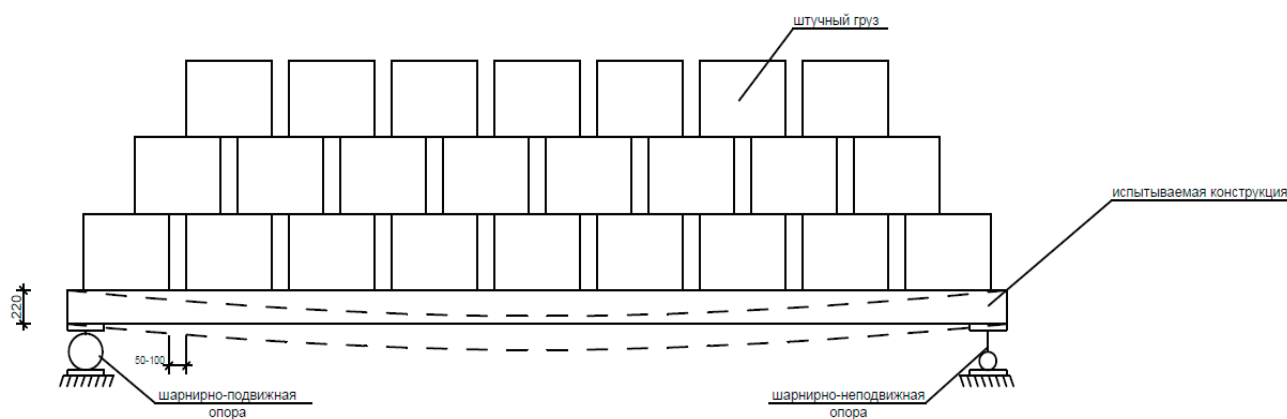


Рис. 1. Схема нагружения многпустотной плиты перекрытия, изготовленной на линии безопалубочного формования

Нагружение конструкции производится от торцов к центру изделия.

На практике редко встречаются штучные грузы, которые обладают идентичными характеристиками (вес, габаритные размеры). При применении блоков ФБС в качестве грузов следует провести сортировку, руководствуясь высотой грузов и их массой. На грузы наносится маркировка, указывающая фактический вес применяемого изделия. На нижний ряд испытываемой конструкции следует устанавливать наиболее тяжелые грузы, так как впоследствии для оценки несущей способ-

ности и характера разрушений плиты понадобятся более «легкие» блоки.

Перед началом испытания необходимо оценить начальные геометрические параметры изделия: вес, положение рабочей арматуры, схему армирования, выгиб/прогиб плиты. Выгиб (прогиб) оценивается как среднее арифметическое между значениями на опорах. Значение выгиба варьируется от 0 до 20 мм, что считается нормой в зависимости от длины изделия и схемы армирования.

В ходе испытаний происходит поэтапное нагружение изделия до требуемой нагрузки. При достижении про-

ектной нагрузки необходимо оценить прогиб, проскальзывание арматуры. Сравнить вышеперечисленные характеристики с требованиями нормативной и проектной документации.

По итогу испытаний составляется отчет с подробным описанием прикладываемых нагрузок, расчетной схемой, величиной прогибов при контрольных нагрузках по прочности, жесткости и трещиностойкости. Дается заключение о возможности/невозможности применения новых технологий при производстве изделий, или же о соответствии состава бетонной смеси требуемым характеристикам изделия. Если в ходе испытаний происходят недопустимые разрушения (трещины с раскрытием, не соответствующие допустимым нормам, прогиб плиты больше критического, проскальзывание арматуры), то в этих случаях дальнейшее изготовление плит недопустимо. Необходима

либо корректировка состава бетонной смеси, либо доработка технологического процесса производства.

Таким образом, предложенная методика испытаний многпустотных плит перекрытия на основе линии безопалубочного формования охватывает все ключевые этапы от подготовки образцов до глубокого анализа результатов. Реализация этого подхода не только обеспечит высокое качество полученных данных, но и послужит основой для разработки новых рекомендаций и норм, улучшающих качество и безопасность формируемых конструкций.

Серии нагружений образцов, испытавших различную нагружающую способность, предоставляют возможность глубокого анализа влияния параметров армирования, составов бетонной смеси и геометрии плит на их стойкость к разрушению.

#### Литература:

1. ГОСТ 8829–2015 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости». М.: Стандартинформ, 2019, с-7–10.
2. Босаков С. В. и др. Расчет и экспериментальная оценка прочности многпустотных плит безопалубочного формования с учетом требований EN= Calculation and experimental estimation of shear strength of hollow core slabs taking into account european standards requirements. — 2010. URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/2795/Строительная наука. 2010 № 6 с.47–54.pdf?sequence=1>
3. Ивантаева А. А. Технология и организация производства железобетонных конструкций на заполнителях из тяжелого дробленого бетона// Инженерные кадры — будущее инновационной экономики России. 2018. № 5. С. 48–50.

## Методология и инструменты цифрового экологического контроля

Воробьева Мария Александровна, студент магистратуры

Научный руководитель: Иванова Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*Данная статья посвящена исследованию современной методологии и инструментов цифрового экологического контроля в сфере строительства. В ней анализируются ключевые показатели, оказывающие существенное влияние на здоровье человека, такие как качество атмосферного воздуха, уровень шума, вибрации, качество водных объектов и показатели городской среды, включая инсоляцию и озелененность. Рассматриваются принципы, методы и этапы реализации цифрового экологического мониторинга — от сбора данных с помощью автоматических датчиков и беспилотных летательных аппаратов до аналитической обработки, и принятия управленческих решений на основе полученной информации. Особое внимание уделяется преимуществам использования цифровых технологий: повышению точности, скорости и объективности контроля, а также возможности моделирования и прогнозирования экологической ситуации. В статье обсуждаются также существенные риски и негативные последствия внедрения цифровых систем, такие как высокая стоимость, проблемы совместимости данных и вопросы кибербезопасности, а также экологическая ответственность самих методов мониторинга. В качестве перспективных инструментов выделены автоматизированные системы оповещения, управление корректирующими мерами, визуализация данных в дашбордах и блокчейн-технологии для верификации информации. Подчеркивается важность комплексного подхода к цифровому экологическому контролю, его потенциал для повышения экологической безопасности, а также необходимость учета экологических аспектов внедрения цифровых систем в строительной отрасли.*

**Ключевые слова:** экологический контроль, цифровизация, цифровые методы, строительство.

Для реализации целей экологического контроля в строительстве необходимо выделить группу приоритетных показателей, оказывающих наиболее существенное воздействие на физическое и психическое здоровье человека. Эти показатели подлежат непрерывному мониторингу и нормированию в рамках экологического контроля. Представим их в таблице 1.



Таблица 1. Показатели качества атмосферного воздуха

Группа показателей	Показатель	Источник воздействия при строительстве	Влияние на здоровье	Нормативный документ
Показатели качества атмосферного воздуха	Взвешенные частицы PM <sub>2.5</sub> и PM <sub>10</sub>	Работа строительной техники (дизельные двигатели), снос зданий, перемещение грунта, резка материалов	Проникают в альвеолы легких, вызывают респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, канцерогенны	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 1.1)
	Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	Дизельная техника, транспорт, сварочные работы	Раздражение дыхательных путей, снижение функции легких, повышенная восприимчивость к инфекциям	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 1.1)
	Оксид углерода (CO)	Двигатели внутреннего сгорания, битумные работы	Связывание гемоглобина, гипоксия, ухудшение когнитивных функций	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 1.1)
	Летучие органические соединения (ЛОС)	Отделочные материалы, клеи, краски, растворители	Головные боли, аллергии, поражение печени и почек, канцерогены	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 1.1)
	Формальдегид	Древесно-плитные материалы, клеи	Канцероген, раздражение слизистых, астма	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 1.1)
	Бенз(а)пирен	Выхлопы дизельной техники, битумные работы	Канцероген 1 класса опасности	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 2.1)
Показатели физического воздействия [1]	Эквивалентный и максимальный уровень звука	Строительная техника, свайные работы, работа с арматурой, транспорт Ударные работы, забивка свай, аварийные сигналы	Нарушение сна, гипертония, ишемическая болезнь сердца, снижение когнитивных способностей у детей Стресс-реакция, вегетативные расстройства	СанПиН 1.2.3685–21 (п.34)
	Вибрация	Забивка свай, работа тяжелой техники, уплотнение грунта	Нарушение периферического кровообращения, заболевания опорно-двигательного аппарата, неврозы	СанПиН 1.2.3685–21 (табл.5.4)
	Инфразвук	Работа крупных двигателей, вентиляционных систем	Утомляемость, чувство страха, вестибулярные расстройства	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 5.5)
Показатели качества водных объектов	pH (водородный показатель)	Сбросы строительных растворов, стоки	Изменение кислотности воды — гибель гидробионтов	СанПиН 1.2.3685–21 (табл.3.3)
	Нефтепродукты	Техника, мойка колес, хранение ГСМ	Токсичны для водных организмов, канцерогены	СанПиН 1.2.3685–21 (табл.3.3)
	Взвешенные вещества	Размыв грунта, сбросы со стройплощадки	Заиливание, ухудшение условий обитания рыб	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 3.2)
	БПК (биологическое потребление кислорода)	Сбросы хозяйственно-бытовых сточных вод	Эвтрофикация водоемов, замор рыбы	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 3.3)



Таблица 1. (продолжение)

Группа показателей	Показатель	Источник воздействия при строительстве	Влияние на здоровье	Нормативный документ
Показатели качества городской среды (психологическое здоровье) [2,3]	Инсоляция (продолжительность солнечного облучения)	Многоэтажная застройка	Дефицит витамина D, нарушение циркадных ритмов, сезонная депрессия	СанПиН 1.2.3685–21 (табл. 5.60)
	Озелененность территории	Проектирование озеленения городов	Снижение стресса, улучшение когнитивных функций (теория восстановления внимания Каплан)	СП 42.13330.2016 п. 7.4 (25–30 % территории)
	Световое загрязнение	Искусственное освещение городов, улиц, строительных площадок	Нарушение сна, подавление выработки мелатонина	СП 52.13330.2016 (табл. 4.2)

Совокупное воздействие перечисленных показателей формирует **интегральный индекс качества городской среды**, который должен стать основой для цифровой оценки и управления экологической безопасностью на всех этапах строительства.

Для исследования экологического контроля необходимо определить принципы, методы и инструменты его осуществления.

- Принципами методологии цифрового экологического контроля являются:
- Непрерывность — контроль осуществляется 24/7, а не эпизодически.
  - Объективность — данные поступают с калиброванных датчиков, исключая человеческий фактор.
  - Прозрачность — информация доступна застройщику, контролеру и общественности (в разной степени).
  - Интеграция — все данные сходятся в единой среде (BIM, облачная платформа).
- В рамках темы данной статьи методология цифрового экологического контроля включает 3 этапа: **сбор данных, аналитическая обработка и принятие решений**.

Таблица 2. Этап 1. Сбор данных

Методы сбора данных	Краткое описание	Инструменты
Стационарный сенсорный мониторинг	Размещение на стройплощадке и по ее периметру датчиков, которые в реальном времени передают данные на сервер.	Газоанализаторы, шумомеры, вибродатчики, мутномеры
Мобильный мониторинг (БПЛА)	Регулярные облеты стройплощадки дронами с RGB-камерами, тепловизорами или газоанализаторами для выявления несанкционированных свалок, пыления, теплопотерь.	Мультироторные с RGB-камерой, БПЛА с тепловизорами или газоанализаторами
Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)	Использование спутниковых снимков для оценки изменения зеленых насаждений, состояния почв и водных объектов в районе строительства (ретроспективный анализ).	Оптические камеры и мультиспектральные сканеры, радиолокационные радары (SAR), термальные сенсоры
Ручной отбор проб (гибридный метод)	Периодический отбор проб воды, почвы, воздуха для лабораторного анализа с последующим внесением результатов в цифровую систему (калибровка автоматических датчиков).	Лабораторное оборудование

Таблица 3. Этап 2. Аналитическая обработка

Методы аналитической обработки	Краткое описание	Инструменты
Сравнение с нормативами (пороговый контроль)	Автоматическое сопоставление текущих значений (шум, PM2.5, NO <sub>2</sub> и др.) с ПДК/ПДУ из СанПиН, СН. При превышении — генерация сигнала.	Специализированные программные комплексы, которые автоматически сравнивают полученные данные с нормативами.

Методы аналитической обработки	Краткое описание	Инструменты
Статистический анализ временных рядов	Выявление трендов, сезонности и аномалий в данных мониторинга (например, рост уровня пыли по утрам при выезде техники).	Диаграммы и графики, ARIMA (авторегрессионные интегрированные скользящие средние)
Пространственный анализ (ГИС)	Построение карт распределения загрязнения, шума, зон застоя воздуха с учетом розы ветров, рельефа и окружающей застройки.	Картографические средства, пространственная аналитика для определения площади, расстояний, плотности, кластеров и границ.
Прогнозное моделирование (рассеивание выбросов, шума)	Расчет распространения загрязняющих веществ или шума от источников до жилой застройки с помощью с учетом метеословий.	ПО «Эколог», Sound PLAN, CadnaA
Оценка жизненного цикла (LCA) на основе BIM	Автоматическое извлечение из BIM-модели спецификаций материалов и расчет углеродного следа (GWP) по этапам A1–A5, B1–B7, C1–C4 с использованием	BIM-модели, платформы One Click LCA, Sustain360 [4].

Таблица 4. Этап 3. Методы принятия решений

Методы хранения, визуализации и принятия решений	Краткое описание	Инструменты
Формирование цифрового экологического паспорта	Сбор в структурированном виде (XML/IFC/PDF) всех экоданных по объекту: от фоновых изысканий до результатов мониторинга при сносе.	Экологический паспорт объекта
Визуализация в дашбордах	Отображение текущих показателей на интерактивной карте-схеме с цветовой индикацией (зеленый/желтый/красный) и автоматическое формирование отчетов (журналы ПЭК, формы 2-ТП).	Дашборды
Автоматическое оповещение (триггерный контроль)	При превышении порога «Внимание» (0,7 ПДК) или «Превышение» ( $\geq 1,0$ ПДК) система рассылает уведомления экологу, прорабу, руководителю (SMS, e-mail, push).	SCADA-системы
Автоматизированное управление корректирующими мерами	Система предлагает или автоматически запускает типовые меры: включение системы пылеподавления, остановка шумных работ, блокировка въезда неисправной техники.	Использование датчиков, IoT-устройств и автоматизированных систем сбора данных
Блокчейн-верификация (перспективный метод)	Фиксация фактов превышений и принятых мер в распределенном реестре для исключения подлога данных и обеспечения доверия со стороны контролеров и общественности.	Децентрализованные блокчейн-сети, интерфейсы API и интеграционные инструменты

При внедрении и использования цифровых инструментов в процесс строительства необходимо учитывать преимущества и недостатки каждого метода, а также риски.

К преимуществам использования перечисленных методов и цифровых инструментов можно отнести следующее:

- Непрерывность и объективность: переход от эпизодических замеров к мониторингу в реальном времени.
- Точность и прогнозирование: возможность моделировать воздействие до начала стройки (симуляция шума каким образом моделирование проводится, загрязнений).
- Прозрачность: единая база данных для застройщика, контролера и общественности.
- Скорость: автоматизация формирования отчетности (2-ТП, ПЭК).

К недостаткам использования перечисленных методов и цифровых инструментов можно отнести следующее:

- Высокая стоимость внедрения: оборудование, ПО, обучение кадров.
- Проблемы совместимости: разные форматы данных от разных производителей (не всегда стыкуются с BIM).
- Риски кибербезопасности: защита данных от взлома и искажения.
- Правовая неопределенность: юридический статус данных с автоматических датчиков

Также, одним из возможных рисков внедрения систем цифрового экологического контроля является экологичность самих методов рассматриваемого контроля. Прямыми негативными воздействиями на окружающую среду вследствие использования цифровизации могут стать:

- Углеродный след производства оборудования (датчики, серверы, дроны).
- Энергопотребление центров обработки данных (дата-центров), где хранится информация.
- Проблема электронных отходов (e-waste) от вышедшего из строя оборудования.

Однако косвенным (позитивным) воздействием является:

- Снижение потребности в командировках и выездах инспекторов (уменьшение выбросов от транспорта).
- Оптимизация (минимизация потерь строительных материалов в ходе возведения здания и сооружений (заводского производства) строительных процессов (меньше перерасхода материалов → меньше отходов).
- Контроль энергоэффективности на этапе эксплуатации.

Цифровизация экологична, если её «зеленый» эффект (снижение воздействия стройки) превышает её собственный экологический след.

## Выводы

Цифровизация экологического контроля в строительстве представляет собой эффективное средство обеспечения непрерывного, объективного и прозрачного мониторинга экологической ситуации. Внедрение цифровых методов позволяет повысить точность и оперативность выявления отклонений от нормативных требований, что способствует своевременному принятию корректирующих мер.

Разработанная методология включает три ключевых этапа: сбор данных, аналитическую обработку и принятие решений. Каждый из этапов реализуется с помощью современных цифровых инструментов, таких как автоматизированные датчики, ГИС-технологии, прогнозное моделирование и системы визуализации данных.

Инструменты автоматизированного управления корректирующими мерами и блокчейн-верификации открывают перспективы повышения доверия и прозрачности систем экологического контроля, обеспечивая автоматическую реакцию на превышения и фиксацию всех действий в надежных реестрах.

## Литература:

1. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
2. СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».
3. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
4. Интеграция Autodesk® в строительное облако. Режим доступа: <https://help.oneclicklca.com/en/articles/275862-autodesk-construction-cloud-integration>

## Мосты в ЖК «Ривер Парк» в Нагатинском затоне как линейные доминанты срединного пояса Москвы

Казанов Андрей Владимирович, аспирант  
Московский архитектурный институт (государственная академия)

*Статья посвящена исследованию роли линейных доминант в формировании пространственной структуры городской среды на примере района Нагатинский затон в Москве. Рассматриваются теоретические подходы к понятию линейных ориентиров и их функции в организации городского пространства. На основе градостроительного анализа выявлены ключевые проблемы территории. Предлагается проектное решение из комплекса линейных доминант. Показано, что данная структура способствует повышению связанности территории, созданию новых сценариев использования пространства и усилению визуально-композиционной выразительности городской среды.*

**Ключевые слова:** градостроительные доминанты, линейная доминанта, современный мегаполис, срединный пояс, взаимодействие городского каркаса и ткани.

## Понятие линейной доминанты

К. Линч, чей труд «Образ города» лег в основу многих исследований, выделял «путь» как один из пяти ключевых элементов образа города, используемый для ориентирования [1, с. 162].

А. С. Щенков в своей классификации ориентиров выделил тип «ленты», который используется для описания крупных городских территорий и перекликается с понятием линейных структур [2, с. 14]. У него «лента» — это вытянутая линейная структура города, складывающаяся

вдоль ключевого направления: реки, дороги или тракта, линии укреплений, торгового пути. А. Г. Бабенко ввел понятие «линейный ориентир», подразумевая бульвары, проспекты — в качестве крупных ориентиров [3, с.86].

А. В. Иконников выделил перспективы линейно-осевой системы ориентиров в пространстве, Ле Корбюзье и Кандилиса рекомендовали размещать важнейшие учреждения на одной оси города [4, с. 48].

У Б. В. Гандельсмана это объекты, представляющие собой более или менее протяженную фронтальную композицию, например: крепостную стену или фронт застройки набережной, как, Дворцовая набережная в Санкт-Петербурге [5, с.16].

Таким образом линейные доминанты городской среды — это протяжённые архитектурно-пространственные элементы, обладающие композиционной выразительностью и организующие структуру городского пространства посредством формирования направленных визуальных и функциональных связей между его ключевыми точками. Они рассматриваются как элементы пространственного каркаса города, выполняющие одновременно несколько функций:

1. композиционную — формирование структуры пространства;
2. визуальную — создание направленных панорам и перспектив;
3. функциональную — организация потоков движения;
4. символическую — формирование образа территории.

### История района проектирования

Территория современного района Нагатинский затон располагается в южной части Москвы. Рельеф местности сформирован системой надпойменных террас и излучин Москвы-реки, что исторически определяло характер освоения территории и размещение поселений [6, с. 197]. Одним из наиболее ранних археологических памятников на территории района является Дьяково городище — укрепленное поселение раннего железного века, расположенное на высоком берегу Москвы-реки [7].

В средние века данная территория входила в систему дворцовых земель Московского княжества [8, с. 19]. Село Коломенское стало одной из важнейших загородных резиденций московских государей. Постепенно Коломенское расширялось и фактически сливалось с соседними поселениями — Шатной слободой и Садовниками на юге, а также Новинками и Нагатиным на севере. [7, 8, с. 21]. Расположение на излучине Москвы-реки определяло хозяйственную специализацию местности: развивались рыболовство, речные перевозки и садоводство, формировались пристани и небольшие речные хозяйственные комплексы.

В 1930-е годы Москва-река и прилегающие территории стали частью проекта, связанного со строительством канала имени Москвы и модернизацией речного транспорта: переустройство Перервинского гидроузла, новая бетонная водосливная плотина длиной 164 м и два

шлюза, включая однокамерный шлюз № 10, гидроэлектростанция мощностью 3,6 МВт [9, с. 244–248]. Строительство велось силами рабочих Дмитлага и параллельно их силами возводилась дома в районе. [10, с. 12–13]. В 1936 году в Нагатинском затоне начал работу Московский судостроительный и судоремонтный завод, ставший одним из ключевых предприятий речного флота столицы. Предприятие обслуживало пассажирские и грузовые суда Московского речного пароходства и сформировало вокруг себя крупную производственную зону [11].

Завод был закрыт в 2016 году [12, с. 54], к 2023 году на месте производственных корпусов вырос жилой комплекс «Ривер Парк». В 2025 году на территории Нагатинского затона, на месте зеленой «зоны резерва», была открыта новая Московская судостроительная верфь [13, с. 8].

В 2023 году в районе заработали две станции Большой кольцевой линии метро [14], а также реализуются масштабные программы благоустройства, ухудшающие транспортную связанность ввиду перекрытий улиц [15]. Исторически зелёные резервы музея-заповедника «Коломенское», прибрежные луга и островные экосистемы, такие как бобровый остров, уничтожались в результате реконструкции набережных, размещения технических баз и новой застройки, под объекты досуга и судостроения [16,17]. В 2024 году был открыт пешеходный мост [18], однако анализ потоков людей указывает на недостаточность одной связи через затон.

### Необходимость пространства

В современных условиях развития территории района наблюдается исчерпание свободных земельных ресурсов. Значительная часть местности уже застроена жилыми кварталами либо находится на этапе реновации. В связи с этим формирование новых общественных пространств в пределах существующей городской структуры становится затруднительным. Одним из возможных направлений пространственного развития является использование акватории Нагатинского затона как ресурса для формирования дополнительных рекреационных и общественных пространств.

Высокая плотность жилой застройки жилого комплекса «Ривер-парк» и прилегающих кварталов формирует значительный спрос на места отдыха, прогулок и повседневной рекреации. Результаты анализа плотности района приведены на рис. 1.

Дополнительным фактором является активное распространение средств индивидуальной мобильности (СИМ), таких как электросамокаты и другие малогабаритные транспортные средства. Массовое их использование увеличивает риски травм граждан и требует отдельной инфраструктуры [19]. В условиях ограниченных пешеходных пространств возникает необходимость разделения потоков движения по типам и скоростям — пешеходных, велосипедных и средств индивидуальной мобильности. Создание новых линейных пространств позволяет более эффективно организовать эти потоки и повысить безопасность передвижения.





Рис. 1. Анализ территории у Нагатинского затона на предмет плотности участков по показателю FAR (Коэффициенту использования территории)

Использование водной поверхности Нагатинского затона открывает возможности для формирования дополнительных общественных пространств без изымания территорий внутри района (подробнее в табл. 1). Размещение пешеходных маршрутов, мостовых переходов и рекреационных платформ на воде позволяет расширить сеть пешеходных связей района, повысить проницаемость городской среды и создать новые видовые и прогулочные маршруты.

Таблица 1. SWOT-анализ места проектирования

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
<p>Выгодное природно-ландшафтное положение в излучине Москвы-реки.</p> <p>Значительное количество водных пространств.</p> <p>Уникальное природное окружение и панорамные раскрытия на акваторию реки. • Строительство крупного делового кластера «Южный порт», формирующего спрос на общественные пространства и инфраструктуру.</p> <p>Развитая городская транспортная система в пределах доступности (метро, наземный транспорт, речной транспорт)</p> <p>Близость к историческому центру Москвы — около 30 минут до Кремля на общественном транспорте.</p> <p>Нет сильных перепадов рельефа.</p> <p>Преимущественно селитебный характер застройки.</p> <p>Наличие среднеэтажной застройки, соразмерной человеческому масштабу.</p> <p>Высокие видовые характеристики — панорамы реки и открытые пространства.</p> <p>Благоустроенные участки набережной в новых кварталах (современные МАФы, функциональное зонирование).</p> <p>Относительно благоприятная экологическая ситуация и наличие городской фауны.</p>	<p>Фрагментарность благоустройства и наличие неучтенных территорий.</p> <p>Дефицит пешеходных и транспортных переправ через акваторию.</p> <p>Большие расстояния между жилыми и общественными зданиями.</p> <p>Низкая проницаемость городской среды.</p> <p>Наличие зон отчуждения и депрессивных территорий бывших промышленных зон.</p> <p>Соседство с промышленными зонами ЮВАО и очистными сооружениями.</p> <p>Недостаточное количество озеленённых территорий.</p> <p>Ограниченный доступ к воде на ряде участков набережной.</p> <p>Недостаточная доступность среды для МГН.</p> <p>Нерационально организованные парковки в старых кварталах.</p> <p>Социально-экономическая неоднородность территории.</p> <p>• Отсутствие мемориализации сложных исторических периодов (индустриальное освоение, ГУЛАГ).</p>



Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
<p>Формирование новых рекреационных пространств у воды.</p> <p>Создание системы пешеходных мостов и набережных, связывающих разрозненные части района.</p> <p>Развитие линейных общественных пространств вдоль акватории.</p> <p>Повышение проницаемости городской среды за счёт новых пешеходных связей.</p> <p>Ревитализация и редевелопмент депрессивных промышленных территорий.</p> <p>• Формирование пешеходно-рекреационного каркаса района, интегрированного с природным ландшафтом.</p> <p>Создание новых общественных пространств районного значения.</p> <p>Развитие экологически ориентированных ландшафтных проектов.</p> <p>Активное использование водного пространства как элемента городской среды.</p>	<p>Сокращение зелёных территорий вследствие интенсивной застройки.</p> <p>Перегрузка транспортной инфраструктуры при росте плотности населения.</p> <p>Утрата природного ландшафта поймы Москвы-реки.</p> <p>Усиление контрастности городской среды из-за точечной высотной застройки.</p> <p>Возможная утрата историко-культурной идентичности территории.</p> <p>Дальнейшая фрагментация городской среды при отсутствии комплексной градостроительной стратегии.</p>

На рисунке 2 показано распределение самых посещаемых мест района по данным портала Strava. После реконструкции музея-заповедника Коломенское, район стал привлекать больше туристов, особенно на береговой линии в Коломенском. Это место находится в 15 минутах ходьбы от большинства домов района и при этом не при-

носит пользы местным жителям. Становится необходимо не просто создать пешеходную зону для улучшения связности территории [20], как в других районах (Печатники, Перово, Люблино, Рязанский) [21], а разместить общественные объекты, создав конкуренцию общегородскому променаду.

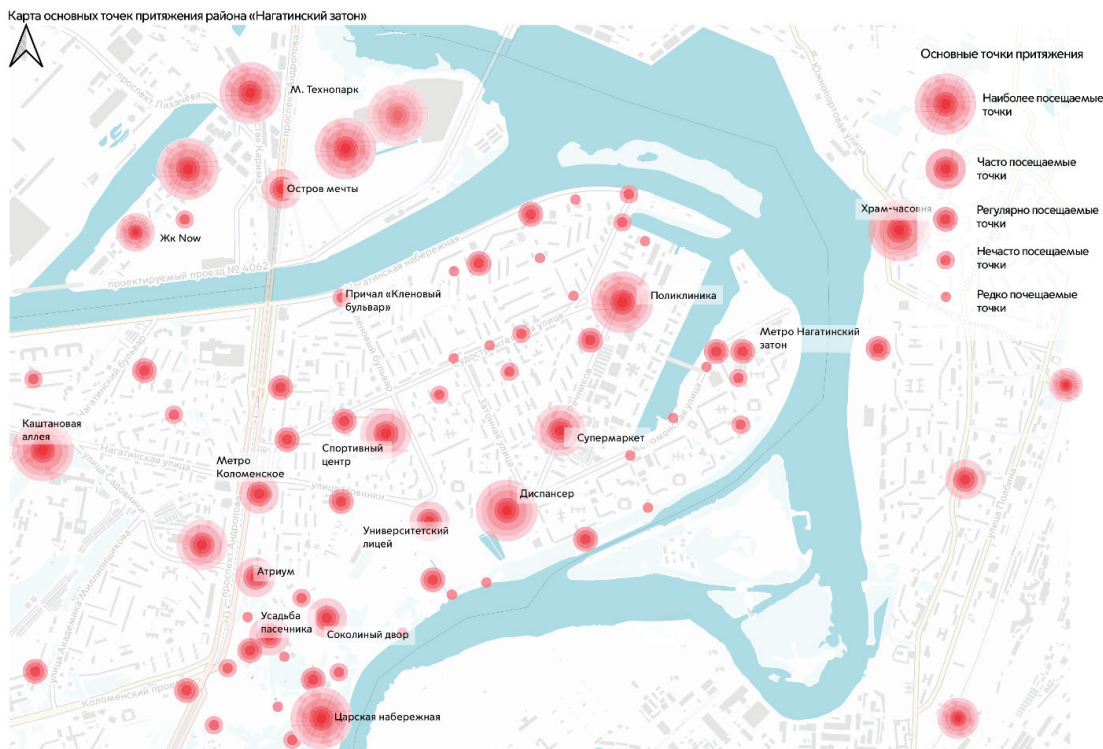


Рис. 2. Авторская интерпретация данных портала Strava о самых посещаемых местах района

**Проектное предложение благоустройства территории у ЖК «Ривер Парк»**

Проектное предложение направлено на формирование многофункционального общественного пространства на

берегу Нагатинского затона у жилого комплекса «Ривер Парк». Основной задачей проекта является создание рекреационной среды, обеспечивающей разнообразные сценарии отдыха жителей района и повышающей проницаемость городской среды за счёт новых пешеходных связей.

Композиционным ядром проекта становится еще один или система пешеходных мостов и прогулочных маршрутов, проходящих через акваторию затона. Мосты формируют непрерывный прогулочный маршрут и суммарно выступают как пространственная доминанта территории. Их криволинейная конфигурация позволяет интегрировать пешеходные связи над ранее неиспользованной водной поверхностью и создаёт новую зону отдыха на водной поверхности.

Одной из ключевых задач проекта является разделение потоков движения. Центральная линейная ось, выделенная на схеме (рис. 3), предназначена для скорост-

ного передвижения, тогда как второстепенные маршруты формируют спокойные прогулочные траектории для пешеходов для безопасности комфорт использования общественного пространства [22]. Интеграция пешеходных путей над водной поверхностью позволяет преодолеть традиционный для Москвы «барьер» не посещаемых людьми зон отступом до 50 метров перед водой [23, с. 56]. С другой стороны, не всегда есть возможность реализации таких грандиозных проектов, поэтому для решения локальных задач требуется поэтапно создавать мосты в зависимости от потребностей места и жителей на данный момент. Открытый в 2025 году мост стал 1-м этапом.

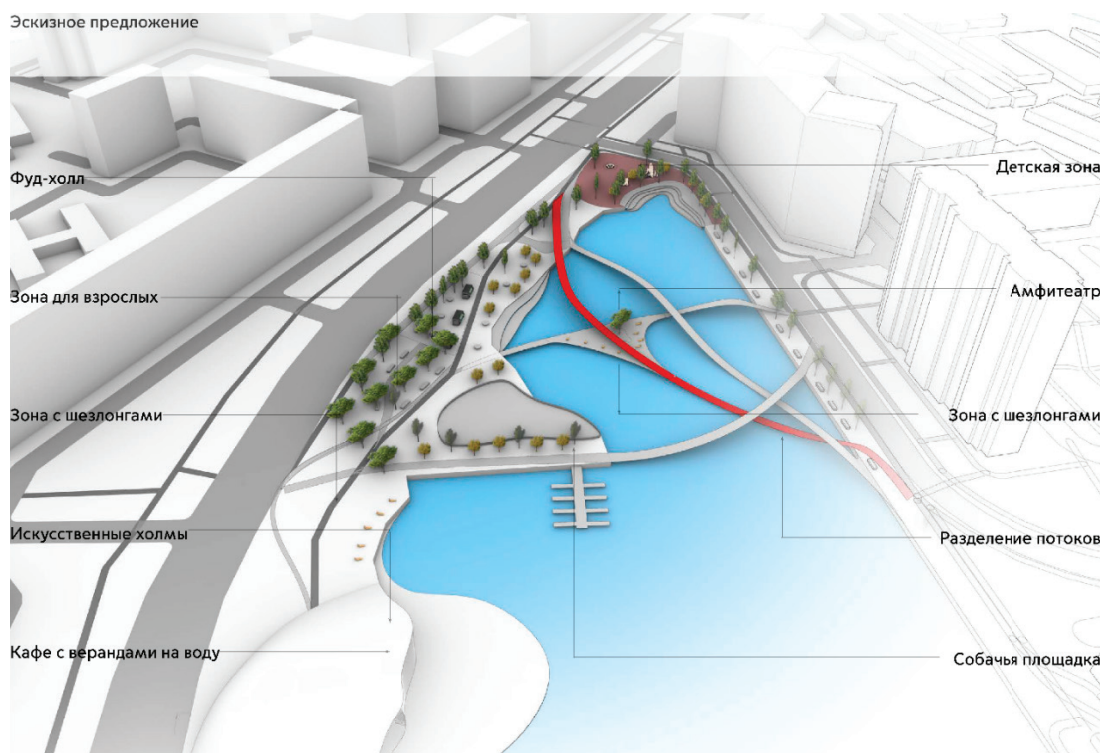


Рис. 3. Концептуальная схема организации линейных связей в Нагатинском затоне с функциональными зонами

Функциональная структура территории включает несколько рекреационных зон различного назначения. В западной части участка располагается детская игровая зона, рядом с которой формируется небольшой амфитеатр, предназначенный для проведения локальных мероприятий и общественных встреч. Вдоль набережной размещаются зоны тихого отдыха с шезлонгами, ориентированные на водную панораму.

На территории предусмотрены пространства для различных возрастных групп, включая отдельную зону отдыха для взрослых. Дополнительные функции включают площадку для выгула собак, а также кафе с верандами, выходящими на воду, что усиливает рекреационный потенциал территории. Подробнее на рис. 4.

#### Выводы:

1. Линейные доминанты являются важным инструментом формирования пространственной структуры современного города, обеспечивая одновременно компо-

зиционную выразительность, связанность территорий и формирование визуального образа территории. В условиях срединного пояса Москвы, где наблюдается высокая плотность застройки и дефицит свободных пространств, их роль существенно возрастает.

2. Анализ территории Нагатинского затона выявил низкую проницаемость городской среды, дефицит пешеходных связей, фрагментарность благоустройства и недостаток рекреационных пространств. Потенциал развития связан с использованием акватории как ресурса для формирования общественных пространств.

3. Предложенное проектное решение демонстрирует, что система пешеходных мостов может выступать в качестве необходимой линейной доминанты, формируя непрерывный каркас общественных пространств. Такая структура позволяет добавить недостающие сценарии использования территории, включая рекреационные, социальные и культурные функции.



4. Разделение потоков движения, интеграция различных функциональных зон и ориентация на водный ландшафт способствуют повышению комфорта и безопасности городской среды.

5. Использование линейных доминант в виде мостов и набережных представляет собой перспективное

направление развития прибрежных территорий Москвы, обеспечивающее комплексное решение задач пространственной организации, повышения качества городской среды не только рассмотренного района, но и раскрытия природного потенциала акваторий мегаполисов РФ.



Рис. 4. Рендеры благоустройства после расчёта конструкций и детализации

#### Литература:

1. Линч, К. Образ города / К. Линч. — М.: Стройиздат, 1982. — 328 с. — Текст: непосредственный.
2. Щенков, А. С. Структура русских исторических городов и система градостроительных ориентиров: на материалах городов XVI — XIX вв.: специальность 18.00.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Щенков А. С.. — М., 1979. — 187 с. — Текст: непосредственный.
3. Бабенко, А. Г. Пространственные ориентиры и их функции в городской застройке: специальность 18.00.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Бабенко А. Г.. — М., 1986. — 163 с. — Текст: непосредственный.
4. Иконников, А. В. Архитектура города. Эстетические проблемы композиции / А. В. Иконников. — М.: Стройиздат, 1972. — 215 с. — Текст: непосредственный.
5. Гандельсман, Б. В. Проблема доминант в исторической части Москвы: специальность 18.00.04: диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Гандельсман Б. В.. — М., 1997. — 202 с. — Текст: непосредственный.
6. Кренке, Н. А. Дьяково городище: культура населения бассейна Москвы-реки в I тыс. до н. э. — I тыс. н. э. / Н. А. Кренке. — М.: ИА РАН, 2011. — 546 с. — Текст: непосредственный.
7. Джанджугазова, Е. А. Коломенское: летний Кремль / Е. А. Джанджугазова. — Текст: непосредственный // Современные проблемы сервиса и туризма. — 2011. — № 4. — С. 83–88.
8. Бокарева, О. Б. Дворцовые усадьбы в XIX в. (Коломенское и Измайлово) / О. Б. Бокарева. — Текст: непосредственный // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2020. — № 8(47). — С. 19–23.
9. Пчелкина, Т. А. Формирование биоты на островах акваторий мегаполиса Москвы / Т. А. Пчелкина, А. Е. Кухта, А. В. Пчелкин. — Текст: непосредственный // Общество. Среда. Развитие. — 2013. — № 2(27). — С. 243–250.

10. Барковский, В. С. Тайны Москва-Волгостроя / В. С. Барковский. — М.: СТД РФ, 2007. — 40 с. — Текст: непосредственный.
11. История одного завода. — Текст: электронный // Российский университет транспорта: [сайт]. — URL: <https://rut-miit.ru/news/175975> (дата обращения: 22.04.2026).
12. Литинецкая, М. Промзоны Москвы: каким будет Южный административный округ через несколько лет / Литинецкая, М. — Текст: непосредственный // Профессиональный журнал АО «Мосинжпроект»: Редевелопмент промзон Москвы. — 2016. — № 3 (14). — С. 54–55.
13. Проценко, Л. Мантуров, Собянин и Патрушев открыли Московскую судостроительную верфь в Нагатинском затоне / Л. Проценко. — Текст: непосредственный // Российская газета. — 2025. — № 270 (9809). — С. 12.
14. Змеул, А. Большая кольцевая линия. Новейшая история московского метро / А. Змеул. — М.: Кучково поле Музеон, 2025. — 320 с. — Текст: непосредственный.
15. Дубровина, М. В. Основные методы реновации производственных территорий. Обоснование направления градостроительного использования территорий бывших производственных зон / М. В. Дубровина. — Текст: непосредственный // Строительство и архитектура. — 2017. — № 5 (18)). — С. 112–113.
16. Бобровый остров в Нагатинском затоне призвали очистить от мусора. — Текст: электронный // М24: [сайт]. — URL: <https://www.m24.ru/news/zhivotnye/11112025/845940> (дата обращения: 22.04.2026).
17. Сафонова, В. Гибель бобра Семёна в Москве: споры о выгуле собак и защите животных / В. Сафонова. — Текст: электронный // SYL.ru: [сайт]. — URL: <https://www.syl.ru/news/society/426361> (дата обращения: 22.04.2026).
18. Собянин, С. С. Собянин открыл новый велопешеходный мост в Нагатинском Затоне / С. С. Собянин. — Текст: электронный // Официальный сайт Мэра Москвы: [сайт]. — URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/12255050/> (дата обращения: 22.04.2026).
19. Назаренко, А. Г. Ретроспективное многоцентровое исследование травматизма при использовании средств индивидуальной мобильности в г. Москве / А. Г. Назаренко, М. В. Науменко, А. А. Очкуренко. — Текст: непосредственный // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. — 2025. — № 4. — С. 744–751.
20. Казанов, А. В. Организация пешеходных связей в пространстве линейных разделителей городской структуры на примере Юго-Восточного округа Москвы / Казанов, А. В. Гандельсман, В. Б. — Текст: непосредственный // Архитектура и современные информационные технологии. — 2024. — № 2(67). — С. 155–172.
21. Казанов, А. В. Обеспечение связанности территорий, разделенных линейными транспортными объектами, на примере ЮВАО г. Москвы / А. В. Казанов. — Текст: электронный // lib.marhi.ru: [сайт]. — URL: [https://lib.marhi.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link\\_FindDoc&id=1226&idb=7](https://lib.marhi.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link_FindDoc&id=1226&idb=7) (дата обращения: 22.04.2026).
22. Мельникова, И. Б. Архитектурно-планировочная организация прибрежных территорий в районах массовой жилой застройки / И. Б. Мельникова. — Текст: непосредственный // Экология урбанизированных территорий. — 2019. — № 4. — С. 146–152.
23. Ревзин, Г. И. Как устроен город: 36 эссе по философии урбанистики / Г. И. Ревзин. — М.: Strelka Press, 2019. — 267 с. — Текст: непосредственный.

## Интеграция солнечных тепловых коллекторов в системы теплоснабжения жилых зданий с переменной нагрузкой

Меирханова Балжана Шалкаркызы, студент магистратуры;

Лещенко Нинель Вячеславовна, студент магистратуры

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

*В статье рассматриваются возможности использования солнечных тепловых коллекторов для отопления жилого здания в условиях континентального климата.*

**Ключевые слова:** солнечные коллекторы, теплоснабжение, энергоэффективность.

### Введение

Активное внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в теплоснабжение жилых зданий направлено на снижение потребления традиционных ресурсов

и уменьшение экологической нагрузки. Доля энергии, получаемой из углеводородного топлива, по-прежнему высока (более 70 % тепла вырабатывается на угольных ТЭЦ и газовых котельных), что особенно ощутимо при значительных суточных и сезонных колебаниях потребления

тепла. Одним из перспективных решений является интеграция солнечных тепловых коллекторов в систему отопления дома. Преимущество солнечной энергии — широчайший ресурс и экологическая чистота, однако ее извлечение требует учета переменного графика инсоляции (день/ночь, лето/зима). Казахстан, расположенный в зоне умеренно-континентального климата, характеризуется высоким годовым потенциалом солнечного излучения (1300–1800 кВт·ч/м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности). В частности, в Алматы суммарная солнечная радиация достигает около 1450 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год (табл. 1). Благодаря этому в южной части страны возможна установка солнечных коллекторов с относительно высокой эффективностью.

В условиях переменного теплового режима (суточные перепады потребления, холодные зимние месяцы) возникает задача оценки доли тепла, которую может покрыть гелиосистема. Важно рассчитать, насколько солнечной энергии достаточно для отопления и ГВС, а также какова дополнительная потребность в традиционном энергоносителе. Особое значение имеет наличие баков-аккумуляторов: они позволяют накопить избыток дневной солнечной тепловой энергии для использования ночью и в холодные периоды.

Целью работы является: 1) анализ суточно-сезонного распределения тепловой нагрузки дома; 2) расчет генерации тепла солнечными коллекторами и определение коэффициента покрытия; 3) сравнение энергетической эффективности гибридной системы с традиционной схемой.

#### Методика расчета тепловой нагрузки здания

Для определения теплоснабжения жилого дома была принята типовая конструкция с площадью отапливаемых

помещений 120 м<sup>2</sup> (примерный объем ~360 м<sup>3</sup>). Расчет тепловой нагрузки производился помесечно с учетом средних климатических данных Алматы. Принята внутренняя температура +20 °С, а расчетные месячные температуры наружного воздуха взяты из метеорологической статистики: минимум января около –5 °С, максимум июля +26 °С. Расчетные теплотери здания определяются по упрощенной формуле теплообмена через ограждающие конструкции с суммарным коэффициентом теплопередачи, подобранным под реальные условия (например, 0,4–0,5 Вт/(м<sup>2</sup>·К) для стен с утеплением). В примерном расчете приняты условные теплотери 80 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади ограждающих конструкций при ΔT=1 К. Это означает, что при разнице температур 30 К суммарная мощность потерь около 80·120·30 = 288000 Вт (288 кВт). Ежемесячная потребность тепловой энергии вычислялась умножением расчетной мощности на количество часов в месяце.

Например, в январе (744 ч)

$$Q_{\text{январь}} = 288 \text{ кВт} \cdot 744 \text{ ч} = 214272 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

а в июне-августе, когда  $T_{\text{нар}} > +20^\circ\text{C}$ , отопление не требуется. В итоге суммарная годовая потребность дома с такими параметрами оказалась порядка 26–27 МВт·ч.

Динамика потребления показала четкий суточный и сезонный профиль: максимальные нагрузки — зимой (декабрь-март), минимум — летом (июнь-август). При отсутствии ГВС эти цифры соответствуют лишь отоплению; с учетом ГВС нагрузка дополнительно возрастает, но в данной курсовой расчеты ограничены отопительной частью. Расчеты выполнены по методикам СНиП (техническим условиям) с использованием среднего месяца как репрезентативного периода.

Для оценки влияния климата приведены данные инсоляции в табл. 1.

Таблица 1. Среднемесячная сумма глобальной радиации в Алматы (горизонтальная плоскость) и годовое ее значение

Месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек	Год
Солн. радиация	49	65	101	136	182	199	211	186	141	91	52	37	1450

#### Описание солнечной гелиосистемы и ее работы

В качестве солнечных коллекторов выбраны вакуумные трубчатые коллекторы типа heat-pipe (тепловые трубки) из-за их высокой эффективности в условиях резкого суточного перепада температур. Преимущества таких коллекторов — высокая производительность при отрицательных наружных температурах и рассеянном свете: они продолжают нагревать теплоноситель даже ночью и в пасмурную погоду. Коллекторы располагаются южным фасадом под углом, близким к широте (~43°) или несколько больше (оптимальный угол 45–50° для совмещенного отопления и ГВС), что обеспечивает максимальный сбор солнечной энергии в отопительный сезон.

Система включает аккумулирующий бак горячей воды объемом 300–500 л. Бак служит основным тепловым аккумулятором: из него циркулирует вода на отопление или ГВС. В солнечных коллекторах циркулирует антифриз или вода в низкотемпературном режиме; тепло от коллекторов через теплообменник передается аккумулярованной воде бака. При избытке солнечной энергии в светлое время суток бак нагревается, при ее недостатке (ночью, зимой) тепло отдается из накопителя. Наличие бака-аккумулятора крайне важно, поскольку солнечное излучение нестабильно: без него почти весь дневной избыток бы тратился впустую, а ночью пришлось бы полагаться на резервные источники. Объем бака подобран так, чтобы покрывать как минимум суточную потребность



в отоплении и ГВС (устанавливают до 30–40 л объема на 1 м<sup>2</sup> площади коллекторов).

В системе предусмотрены все необходимые компоненты: циркуляционный насос, расширительный бак, системы управления (термостаты, трехходовые клапаны). Традиционный источник тепла (газовый котел или электронагреватели) подключается к верхней части бака для «дозаправки» теплом в холодные периоды. При этом управлять можно так, чтобы солнечная система работала максимально автономно: традиционный источник включается только при падении температуры бака ниже заданного уровня.

Схема работы: в ясный день солнечный коллектор вырабатывает тепловую энергию и непрерывно нагревает воду в баке-аккумуляторе. Из бака горячая вода подается к радиаторам и в систему ГВС, если ее температура достаточна. При снижении инсоляции вечером (или зимой в пасмурную погоду) основным источником тепла становится накопленное тепло. Если температура в баке падает существенно ниже требуемой, включается резервный котел. Такой гибридный режим обеспечивает стабильный комфорт при экономичном расходе основного топлива.

### Расчет доли покрытия тепловой нагрузки

Для оценки эффективности гелиосистемы была смоделирована выработка тепла солнечными коллекторами на год при условии, что все выработанные теплоносителем коллекторы направлены в полезную нагрузку (т. е. бак-аккумулятор допускает полное использование накопленного тепла). Пусть площадь коллекторов  $S_{\text{кол}} = 20$  м<sup>2</sup> (пример: 10 трубок по 2 м<sup>2</sup> каждая) и средний КПД системы при средних температурах ТН +40...+60 °С составляет 50 % (с учетом тепловых потерь). Тогда месячная

выработка тепла оценивается как  $S_{\text{кол}} = \frac{Q_{\text{сол}}(m)}{G(m) \cdot \eta}$  — сум-

марная дневная радиация месяца (кВт·ч/м<sup>2</sup>) по табл. 1. На-

пример, в мае  $G(m) = \frac{Q_{\text{сол}}(m)}{S_{\text{кол}} \cdot \eta}$  кВт·ч.

На основе данных табл. 1 получена месячная выработка (при  $\eta = 0.5$ ): январь ≈490 кВт·ч, февраль 650, март 1010, апрель 1360, май 1820, июнь 1990, июль 2110, август 1860, сентябрь 1410, октябрь 910, ноябрь 520, декабрь 370 (в кВт·ч). Суммарно за год  $Q_{\text{сол,год}} \approx 7250$  кВт·ч. При этом годовая потребность дома  $Q_{\text{потр,год}} \approx 26300$  кВт·ч (см. раздел 2). Доля покрытия тепловой нагрузки солнечными коллекторами (при оптимальном использовании накопленного тепла) равна:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{сол,год}}}{Q_{\text{потр,год}}} \approx \frac{7250}{26300} \approx 0,28 \text{ (28 \%)}$$

Таким образом, в данном примере около 28 % годовой потребности в тепле обеспечивается солнечной энергией. Эту долю можно увеличить, увеличивая пло-

щадь коллекторов или улучшая теплоизоляцию здания. В модели учтено, что энергия, накопленная днем, используется в ночное время. При отсутствии бака-аккумулятора (только прямой контур без накопления) эффективная доля была бы значительно меньше, так как большая часть дневной выработки не могла бы использоваться ночью.

### Сравнение с традиционной системой

В традиционной схеме отопления (газовый или электрический котел) годовая потребность  $Q_{\text{потр,год}}$  полностью покрывалась бы за счет топлива. Для примера возьмем природный газ: 1 м<sup>3</sup> газа дает ≈10 кВт·ч тепла (номинальная теплотворная способность ~9000–10000 ккал). Тогда без использования солнечной энергии потребовалось бы около  $26300/10 \approx 2630$  м<sup>3</sup> газа в год. С учетом гелиосистемы остается покрывать 72 % нагрузки:  $(26300 - 7250)/10 \approx 1903$  м<sup>3</sup> газа. Таким образом, годовая экономия газа ~727 м<sup>3</sup>, что значительно снижает расходы на топливо и выбросы CO<sub>2</sub>.

Учет динамики нагрузки добавляет уточнения: например, солнечная система в ясный зимний день может полностью обеспечить отопление и ГВС дома, а ночью или в пасмурную погоду понадобятся доли энергии из бака и дополнительные источники. При этом установка солнечного коллектора позволяет уменьшить мощность резервного котла и сократить время его работы. В перспективе комбинирование солнечного и традиционного отопления дает более плавный график работы котельной: пиковые нагрузки перекидываются на дневную солнечную генерацию, а во второй половине дня система переходит на аккумулированное тепло. В итоге газовый котел включается реже и работает в более эффективном режиме, снижая тепловые потери стояка.

Рассмотренный вариант гелиосистемы с площадью 20 м<sup>2</sup> и баком 400 л показал экономический эффект: при текущих ценах на газ и электроэнергию срок окупаемости таких вложений может составлять несколько лет (оценка зависит от стоимости оборудования и местных тарифов). Стоит отметить, что архитектурно-сантехнические решения (правильный угол наклона, минимальные теплопотери контура) также существенно влияют на итоговую производительность

### Заключение

Выполненная работа показала, что интеграция солнечных коллекторов в систему отопления жилого дома в значительной степени улучшает энергоэффективность. Расчеты продемонстрировали, что уже при умеренной площади коллекторов (20 м<sup>2</sup>) доля покрытия тепловой нагрузки солнечной энергией составляет порядка 25–30 % в год. Солнечные коллекторы наиболее эффективны в условиях яркой инсоляции весной и осенью; их вклад зимой ограничен, но наличие аккумулирующего бака по-

звояет сгладить этот разрыв. Модельный пример показал, что с солнечной системой можно экономить сотни кубометров газа в год при сохранении комфортного режима отопления.

#### Литература:

1. Integration of solar thermal collectors and heat pumps with thermal energy storage systems for building energy demand reduction: A comprehensive review // Journal of Energy Storage, 2024.
2. Азарова Т. Б., Гусева К. П., Жилина Т. С. Отопление с использованием солнечных коллекторов в городе Оренбурге. — «Молодой ученый», № 8 (142), 2017, с. 40–43.
3. RUCELF. Пособие по проектированию гелиосистем RUCELF. Москва: RUCELF, 2019.
4. Miroslaw Zukowski. Energy and Environmental Performance of Solar Thermal Collectors and PV Panel System in Renovated Historical Building // Energies, 2021.

## Методы расчета плит перекрытий на продавливание с учетом усиления композитными материалами в расчетной программе SCAD

Шибаетов Яков Александрович, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В статье рассматриваются методы расчета железобетонных плит перекрытий на продавливание [1] с учетом их усиления композитными материалами [2] с использованием расчетного программного комплекса SCAD. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надежности конструкций и поиском эффективных решений для усиления плит перекрытий в зонах передачи сосредоточенных нагрузок от колонн и опорных стен.*

*В ходе работы выполнено численное моделирование железобетонной плиты перекрытия и проведен анализ её напряжённо-деформированного состояния. Рассмотрены варианты усиления конструкции композитными материалами и выполнено сопоставление результатов расчетов для усиленной и усиленной плиты. Полученные результаты показали, что применение композитных материалов способствует снижению концентрации напряжений в зоне опирания и повышению несущей способности конструкции [3, 4].*

*Полученные результаты показывают, что использование композитных материалов может существенно повысить устойчивость плит перекрытий к продавливанию и снизить концентрацию напряжений в зоне опирания. Проведённые исследования демонстрируют возможности программного комплекса SCAD для анализа подобных задач и позволяют сформировать практические рекомендации по моделированию и расчету усиленных конструкций.*

*Практическая значимость исследования заключается в демонстрации возможностей программного комплекса SCAD для моделирования усиленных железобетонных конструкций и в формировании рекомендаций по оценке эффективности применения композитных материалов при усилении плит перекрытий.*

**Ключевые слова:** продавливание плит перекрытий, железобетонные плиты, усиление конструкций, композитные материалы, численное моделирование, SCAD, несущая способность.

## Methods for calculating floor slabs for punching shear, taking into account reinforcement with composite materials in the SCAD calculation program

Shibaev Iakov Alexandrovich, master's student  
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

#### Введение

Продавливание является одним из наиболее опасных видов разрушения железобетонных плит перекрытий, возникающим в зонах передачи сосредоточенных нагрузок от колонн или опорных стен. Данный вид разрушения носит хрупкий характер и приводит к внезапной потере несущей способности конструкции [1].

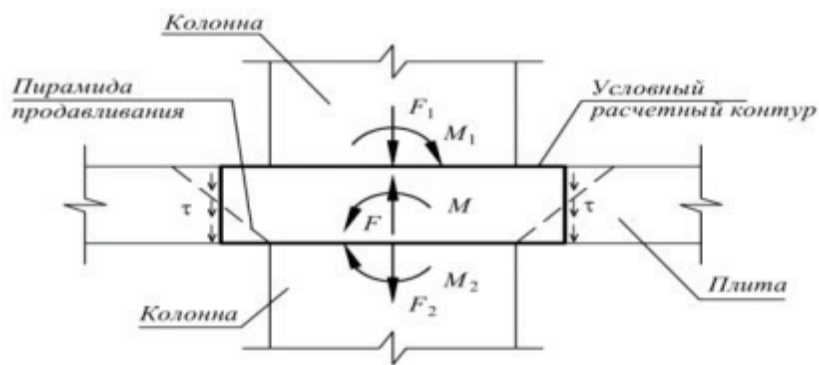
В условиях реконструкции зданий, изменения функционального назначения сооружений или увеличения эксплуатационных нагрузок возникает необходимость усиления плит перекрытий. Одним из современных и эффективных способов усиления является применение композитных материалов на основе углеродных волокон (CFRP) [2].

Вместе с тем, вопросы учета композитного усиления при расчете продавливания остаются недостаточно проработанными, особенно в рамках расчетных программ, основанных на методе конечных элементов.

Целью данной работы является анализ методов расчета плит перекрытий на продавливание с учетом усиления композитными материалами в программном комплексе SCAD.

Нормативные методы расчета продавливания

Согласно действующим нормативным документам, расчет продавливания выполняется по контрольному периметру, расположенному на определенном расстоянии от грани колонны [1].



Суть расчета заключается в сравнении расчетного поперечного усилия с несущей способностью бетона по касательным напряжениям. При этом учитываются геометрические параметры конструкции, класс бетона и армирование.

Однако нормативные документы не содержат прямых указаний по учету композитного усиления при расчете продавливания. В связи с этим расчет выполняется с использованием инженерных допущений или корректирующих коэффициентов [2].

Методика численного моделирования в SCAD

Для анализа работы плиты перекрытия была построена конечно-элементная модель в программном комплексе SCAD. Рассматривалась плита размером 12х12 м, опирающаяся на колонны, расположенные с шагом 6х6 м. Общее количество колонн — 9.

- Были рассмотрены два варианта соединения плиты с колоннами:
- без применения элемента связи АЖТ;
  - с использованием элемента АЖТ.

Плита моделировалась с использованием пластинчатых конечных элементов. Усиление композитными материалами учитывалось следующими способами:

- введение дополнительных слоев;
- увеличение эквивалентной жесткости;
- моделирование усиления в виде распределенного слоя.

При этом принималось допущение о полной совместной работе бетона и композитного материала.

Результаты расчета и их анализ

Результаты расчета указаны в Таблице 1 и Таблице 2.

Таблица 1. Относительное изменение вертикальных перемещений в зависимости от типа усиления

	Плита с АЖТ		Плита без АЖТ	
	Вертикальные перемещения, мм	Максимальный изгибающий момент Мх, Т*Т/м	Максимальный изгибающий момент Му, Т*Т/м	Вертикальные перемещения без АЖТ, мм
Без усиления	12,61	6,5	6,33	16,47
Усиление ламелями	12,55	6,4	6,27	16,39
Усиление CFRP листами	11,42	6,34	6,2	14,9

Таблица 2. Коэффициент усиления конструкций

Коэффициент усиления, $f_0-f_{yc}/f_0 \cdot 100, \%$						
	Вертикальные перемещения		Момент $M_x$		Момент $M_y$	
	Ламели	CFRP листы	Ламели	CFRP листы	Ламели	CFRP листы
Плита с АЖТ	0,48	9,44	1,54	2,46	0,95	2,05
Плита без АЖТ	0,49	9,53	-	-	-	-

Анализ показывает, что ламели практически не влияют на жесткость системы, тогда как углеродная ткань приводит к заметному снижению прогибов.

Изменения изгибающих моментов носят незначительный характер, что свидетельствует о слабом влиянии усиления на перераспределение изгибающих усилий.

Касательные напряжения в зоне колонн изменялись незначительно.

При этом при моделировании усиления углеродной тканью наблюдалось увеличение локальных напряжений в бетоне. Это связано с перераспределением усилий вследствие повышения жесткости усиленной зоны и принятым допущением о полной совместной работе материалов.

### Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что эффективность композитного усиления зависит от способа его моделирования и характера работы конструкции.

Ламели, расположенные в пролете, практически не влияют на работу плиты при продавливании, поскольку не вовлекаются в работу приопорной зоны.

В то же время углеродные ткани, моделируемые как сплошной слой, увеличивают жесткость конструкции и приводят к перераспределению усилий.

Следует отметить, что расчет в SCAD не учитывает ряд факторов, таких как:

- частичное сцепление материалов;
- трещинообразование;
- нелинейная работа бетона.

Это может приводить к искажению реальной картины напряжений.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности конечно-элементной модели к параметрам жесткости усиленной зоны. При моделировании композитного усиления в виде эквивалентного слоя происходит изменение локальной жесткости конструкции, что приводит к перераспределению внутренних усилий.

При этом предположение о полной совместной работе бетона и композитного материала не учитывает реальные механизмы взаимодействия, такие как частичное сцепление, отслоение и трещинообразование, что может приводить к завышению локальных напряжений.

Таким образом, применение линейных конечно-элементных моделей для оценки продавливания с учетом композитного усиления требует дополнительной калибровки и сопоставления с экспериментальными данными [3].

### Выводы

1. Напряженно-деформированное состояние плиты в SCAD определяется в первую очередь жесткостью расчетной схемы.
2. Усиление ламелями CFRP практически не влияет на прогибы и изгибающие моменты.
3. Усиление углеродными тканями приводит к снижению прогибов и перераспределению усилий.
4. Рост напряжений в бетоне при усилении связан с особенностями конечно-элементной модели.
5. SCAD не позволяет напрямую оценить несущую способность при продавливании с учетом композитного усиления.
6. Для корректного расчета необходимо использовать комбинированный подход: МКЭ + нормативные методы.

### Литература:

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2018. 120 с.
2. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. М.: Минстрой России, 2014. 76 с.

3. Анна, А. Д. Расчёт усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами. / А. Д. Анна, Д. К. Виктор. — Текст: непосредственный // Инженерно-строительный журнал. — 2009. — № 3.
4. Татьяна, С. М. Внешнее армирование железобетонных колонн композиционным материалом на основе углеродных волокон / С. М. Татьяна, Д. К. Виктор. — Текст: непосредственный // Инженерно-строительный журнал. — 2010. — № 3.



## ГЕОЛОГИЯ

### Оценка эффективности методов интеграции производственных мощностей на морских месторождениях

Абдуллаева Гилас Сейфулла, студент магистратуры;

Хасанова Эллада Раиз, студент магистратуры

Научный руководитель: Абдуллаева Лала Акпер кызы, PhD, доцент

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (г. Баку, Азербайджан)

Разработка морских нефтегазовых характеризуются высокой капиталоемкостью, что обусловлено необходимостью применения передового оборудования, сложной логистики и строгих требований к безопасности в морской среде. В целях повышения экономической эффективности компании нередко объединяют производственные мощности, избегая создания отдельной инфраструктуры для каждого месторождения. В данной работе рассматриваются и сопоставляются три ключевые стратегии интеграции морских производственных объектов: 1) система подводного присоединения (subsea tie-back), предусматривающая подключение спутникового месторождения к принимающему объекту или плавучей установки типа FPSO; 2) схема «узловая модель обустройства месторождения» (hub-and-spoke), при которой продукция нескольких месторождений транспортируется к единому центральному узлу переработки; 3) использование совместной инфраструктуры, включая экспортные трубопроводы, системы энергоснабжения, вспомогательные коммуникации и операционную поддержку. Эффективность каждого подхода оценивается по таким практическим параметрам, как капитальные затраты (CAPEX), операционные расходы (OPEX), время достижения первой добычи, стабильность производства (коэффициенты готовности и доступности), а также основные технические риски, в частности проблемы обеспечения течения (образование гидратов, парафиноотложения и слэггинг) и ограничения пропускной способности принимающих объектов.

**Ключевые слова:** интеграция производственных объектов, освоение морских месторождений, подводное присоединение, совместная инфраструктура, CAPEX и OPEX, производственная доступность.

### Assessing the efficiency of production capacity integration methods at offshore fields

Abdullayeva Gilas Seyfulla, master's student;

Khasanova Ellada Raiz, master's student

Scientific advisor: Abdullayeva Lala Akper kyzy, phd, associate professor

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku, Azerbaijan)

Offshore oil and gas projects are characterized by high capital intensity, driven by the need for advanced equipment, complex logistics, and stringent safety requirements in the marine environment. To enhance economic efficiency, companies often integrate production facilities, thereby avoiding the development of separate infrastructure for each field. This study examines and compares three key strategies for integrating offshore production systems: 1) the subsea tie-back approach, which involves connecting a satellite field to a host facility or a floating production unit such as an FPSO; 2) the hub-and-spoke configuration, in which production from multiple fields is transported to a centralized processing hub; and 3) the use of shared infrastructure, including export pipelines, power supply systems, auxiliary communications, and operational support. The effectiveness of each approach is evaluated based on practical parameters such as capital expenditures (CAPEX), operating expenditures (OPEX), time to first production, production stability (availability and uptime factors), and key technical risks, particularly flow assurance challenges (e.g., hydrate formation, paraffin deposition, and slugging) as well as processing capacity constraints of host facilities.

**Keywords:** production system integration; offshore field development; subsea tie-back; hub-and-spoke configuration; shared infrastructure; CAPEX and OPEX; production availability.

## Введение

Освоение морских месторождений характеризуется высокой степенью сложности, обусловленной суровыми условиями морской среды, жёсткими ограничениями по площади, а также зависимостью логистических операций от погодных факторов. Значительные затраты на монтаж и техническое обслуживание обуславливают критическую важность надёжности, поскольку отказы оборудования или простои могут привести к существенным потерям добычи и возникновению рисков для безопасности. В целях повышения экономической эффективности проектов операторы нередко прибегают к интеграции производственных мощностей, предполагающей совместное использование инфраструктуры несколькими месторождениями вместо создания автономных систем для каждого из них.

Интеграция может реализовываться в различных формах. Одним из наиболее распространённых подходов является подводное присоединение (subsea tie-back), при котором спутниковое месторождение подключается к существующей платформе или плавучей установке типа FPSO, что позволяет осуществлять подготовку и транспортировку продукции с использованием уже имеющихся мощностей. Другой моделью является конфигурация «узловая модель обустройства месторождения» (hub-and-spoke), в рамках которой центральный объект перерабатывает продукцию, поступающую с нескольких окружающих месторождений. Кроме того, интеграция может включать совместное использование трубопроводной системы, энергоснабжения, вспомогательных коммуникаций, химических систем и операционных ресурсов. Подобные решения особенно актуальны для малых и средних месторождений, разработка которых в автономном режиме экономически нецелесообразна.

Несмотря на очевидные преимущества, интеграция сопряжена с рядом существенных вызовов. Она позволяет значительно сократить капитальные затраты за счёт отказа от дублирования ключевых объектов, таких как установки подготовки продукции и системы экспорта. Эксплуатационные расходы также могут снижаться благодаря объединению логистики, технического обслуживания и трудовых ресурсов. Кроме того, интегрированные проекты, как правило, обеспечивают более быстрое достижение первой добычи за счёт использования уже существующей инфраструктуры.

В то же время интеграция формирует дополнительные риски зависимости. При подключении нескольких месторождений к одному принимающему объекту любые его остановки или ограничения могут негативно сказаться на совокупном уровне добычи. Существенным фактором остаются и ограничения пропускной способности, поскольку существующие платформы могут не обладать достаточными возможностями по подготовке, компримированию или транспортировке продукции. Переоценка этих возможностей способна привести к снижению объёмов

добычи либо необходимости проведения дорогостоящей модернизации. Дополнительно, протяжённые подводные линии присоединения создают проблемы обеспечения течения, включая образование гидратов, отложение парафинов, коррозию, а также сложные термобарические условия, что увеличивает операционную сложность систем.

Таким образом, оценка эффективности интеграционных решений должна носить комплексный характер и учитывать не только начальные инвестиции, но и долгосрочные показатели функционирования. К числу ключевых критериев относятся совокупные капитальные и эксплуатационные затраты на протяжении жизненного цикла, надёжность добычи, соблюдение сроков реализации проекта, гибкость системы, а также уровень подверженности техническим рискам. Решение, кажущееся экономически оправданным на начальном этапе, может оказаться неэффективным в случае возникновения эксплуатационных осложнений.

Настоящее исследование рассматривает методы интеграции как гибкие инженерные решения, а не универсальные подходы, подчёркивая, что их результативность определяется конкретными условиями месторождения, расстоянием до принимающих объектов, глубиной моря, характеристиками добычи и степенью неопределённости параметров пласта.

## Цель исследования

Целью данного исследования является определение и сравнительный анализ основных подходов к интеграции морских производственных объектов в качестве альтернативы автономному освоению каждого месторождения. Данный вопрос приобретает особую актуальность для кластеров малых и средних залежей, для которых создание отдельных платформ и экспортных систем зачастую экономически нецелесообразно. В рамках работы рассматриваются наиболее распространённые решения, включая подводные подключения (subsea tie-back) к существующим платформам или установкам типа FPSO, конфигурации «узловая модель обустройства месторождения» с централизованной подготовкой продукции, а также совместное использование инфраструктуры — трубопроводов, систем энергоснабжения, вспомогательных коммуникаций и операционных ресурсов.

Помимо проведенного анализа, исследование направлено на оценку влияния различных вариантов интеграции на общую эффективность проектов. Оценка проводится на основе ключевых показателей, таких как капитальные затраты (CAPEX), эксплуатационные расходы (OPEX), время достижения первой добычи, производственная доступность, а также основные технические риски. Особое внимание уделяется реальному эксплуатационным ограничениям, включая пределы пропускной способности принимающих объектов, наличие узких мест и необходимость их устранения, взаимозависимость систем

(когда отказ одного элемента влияет на несколько месторождений), а также проблемам обеспечения течения при транспортировке продукции на большие расстояния по подводным коммуникациям, таким как образование гидратов, парафиноотложения, слэггинг и коррозия.

Кроме того, в исследовании формулируются практические рекомендации для принятия инженерных решений. Интеграция не рассматривается как универсально предпочтительный подход; напротив, определяются условия, при которых тот или иной метод является наиболее эффективным. К таким условиям относятся размеры месторождений, расстояние до существующей инфраструктуры, глубина моря, характеристики флюидов, требования к их подготовке, а также допустимый уровень операционной взаимозависимости. Основной задачей является содействие выбору решений, обеспечивающих максимальную ценность на протяжении жизненного цикла проекта при сохранении безопасной и устойчивой эксплуатации.

Дополнительно анализируются компромиссные аспекты каждого подхода, подчёркивая, что эффективность одной и той же концепции может существенно варьироваться в зависимости от конкретных условий её применения. Интеграция способна обеспечить значительные преимущества, прежде всего за счёт сокращения дублирования инфраструктуры и ускорения ввода месторождений в разработку. Вместе с тем она не является универсальным решением: её успешность определяется рядом критически важных факторов, включая характеристики месторождений, степень близости инфраструктуры и доступную мощность принимающих объектов. Несмотря на потенциал повышения эффективности, ограничения, связанные с техническими параметрами, зависимостью от общей инфраструктуры и рисками возникновения узких мест, требуют тщательного учёта и управления.

## Обсуждение

### 1) Снижение CAPEX и скрытые затраты жизненного цикла: экономический компромисс

Наиболее очевидным преимуществом интеграции является сокращение капитальных затрат. Создание новой морской платформы или полноценного комплекса подготовки продукции требует значительных инвестиций, обусловленных необходимостью установки крупногабаритного оборудования верхнего строения, привлечения специализированных судов, проведения пусконаладочных работ и обеспечения постоянной морской логистики. В случае подключения спутникового месторождения по схеме «подводная привязка к существующей инфраструктуре» или FPSO новые затраты, как правило, ограничиваются бурением скважин, установкой подводного оборудования и прокладкой трубопроводов. Это позволяет существенно снизить начальные инвестиции, особенно при наличии у принимающего объекта свободных мощностей и экспортной инфраструктуры.

Однако минимальные капитальные затраты не всегда обеспечивают максимальную эффективность в долгосрочной перспективе. В процессе эксплуатации интегрированных систем возникают дополнительные расходы, которые зачастую недооцениваются на стадии концептуального проектирования. К ним относятся:

- увеличение затрат на химические реагенты и теплоизоляцию протяжённых подводных линий;
- расширение программ внутритрубной диагностики (pigging), мониторинга и обеспечения целостности;
- дополнительные системы измерения и распределения продукции;
- необходимость устранения узких мест (debottlenecking) на принимающих объектах;
- потери, связанные с остановками, затрагивающими сразу несколько месторождений (DNV, 2019; API, 2017).

Таким образом, оценка эффективности интеграции должна учитывать полный жизненный цикл проекта. Решение, позволяющее снизить CAPEX, может оказаться менее выгодным при увеличении числа простоев или эксплуатационных затрат.

### 2) Сроки реализации: ускоренный запуск при усложнённой координации

Одним из ключевых мотивов интеграции является сокращение сроков ввода в эксплуатацию. При использовании схемы subsea tie-back реализация проекта ускорится за счёт наличия уже действующей платформы или FPSO, а основные работы ограничиваются подводной инфраструктурой и подключением к принимающему объекту. Более ранний запуск добычи способствует ускорению поступления денежных потоков и повышает экономическую привлекательность проекта.

В то же время интеграция требует более высокой степени координации. Необходима синхронизация инженерных решений, согласований, монтажных работ, испытаний и ввода в эксплуатацию между несколькими участниками. Изменения на стороне принимающего объекта (например, модернизация компрессоров, ограничения по энергоснабжению или экспорту) могут привести к задержкам запуска спутникового месторождения, даже при его полной готовности. В конфигурациях типа «ступица–спицы» центральный объект становится определяющим фактором графика: его задержка автоматически переносится на все подключённые месторождения.

Следовательно, интеграция способна ускорить реализацию проекта, однако её эффективность зависит от стабильности инфраструктуры и качества управления интерфейсами.

### 3) Надёжность: эффект домино при остановках

Интеграция усиливает взаимозависимость месторождений. В автономных схемах остановка, как правило, затрагивает лишь одно месторождение, тогда как в ин-

тегрированных системах сбой на принимающем объекте (в энергоснабжении, компримировании, сепарации, экспорте или системе безопасности) может привести к одновременному снижению или прекращению добычи на нескольких объектах.

В связи с этим надёжность должна оцениваться на уровне всей системы. Ключевой вопрос заключается не только в экономичности подключения, но и в совокупном объёме добычи, обеспечиваемом сетью в течение жизненного цикла.

Для минимизации рисков необходимы:

- согласованные планы технического обслуживания и остановок;
- резервирование критически важных систем;
- реалистичная оценка доступности принимающего объекта;
- анализ ограничений и сценариев отказов.

Игнорирование этих факторов может привести к тому, что интеграционное решение окажется менее эффективным в реальных условиях эксплуатации.

#### *4) Пропускная способность и узкие места: ключевое ограничение*

Одной из наиболее распространённых проблем интеграционных проектов является недостаточная пропускная способность принимающих объектов. При этом речь идёт не только о суммарном дебите, но и о следующих параметрах:

- компримирование газа (часто выступает первым ограничением);
- энергоснабжение;
- обработка и закачка пластовых вод;
- эффективность сепарации и обработки жидкости;
- давление в экспортных трубопроводах;
- системы подачи реагентов и вспомогательные службы.

На ранних стадиях проектирования часто предполагается наличие свободных мощностей, однако детальный анализ выявляет ограничения. В случае необходимости модернизации интеграция требует дополнительных капитальных вложений и может сопровождаться остановками производства.

Практически целесообразно рассматривать пропускную способность как «критический порог» при принятии решений, учитывая:

- затраты и временные потери на устранение узких мест;
- корректировку прогнозов добычи;
- чувствительность проекта к неопределённостям пластовых и технологических параметров.

#### *5) Обеспечение течения: влияние расстояния и свойств флюидов*

Обеспечение течения является одним из ключевых технических вызовов для подводных интеграционных

систем. Транспортировка многофазной продукции на большие расстояния в условиях низких температур морского дна сопровождается такими рисками, как:

- образование гидратов;
- парафиноотложения;
- слэггинг;
- коррозия;
- неблагоприятные термобарические условия (Mokhatab, 2025; DNV, 2019).

С увеличением расстояния подключения возрастают как риски, так и затраты на их минимизацию. Требуются дополнительные решения — теплоизоляция, подогрев, химическая обработка, внутритрубная очистка или подводная подготовка продукции, — что повышает сложность системы.

В большинстве случаев схема tie-back остаётся эффективной при умеренных расстояниях и благоприятных свойствах флюидов. При сложных условиях более целесообразными могут оказаться централизованные системы типа «ступица–спицы» или альтернативные конфигурации.

#### *6) Совместная инфраструктура: экономия при условии координации*

Совместное использование трубопроводов, систем энергоснабжения, вспомогательных служб, логистики и операционных ресурсов позволяет снизить как капитальные, так и эксплуатационные затраты. Например, единый экспортный трубопровод может заменить несколько отдельных линий, одновременно уменьшая экологическую нагрузку. Совместное использование транспортных средств и оптимизация технического обслуживания также повышают эффективность эксплуатации. Вместе с тем успешная реализация таких решений требует высокой степени координации между участниками проекта, чёткого распределения ответственности и эффективного управления ресурсами.

Для иллюстрации типичной схемы подводного подключения (subsea tie-back) на рисунке 1 представлены основные подводные соединения между спутниковым месторождением и принимающим объектом. Также показано, каким образом трубопроводы (flowlines), умбиликалы и линии закачки обеспечивают транспортировку флюидов, а также передачу энергии, сигналов управления и данных для подводного оборудования.

Рисунок 1 позволяет наглядно понять, почему схема subsea tie-back часто рассматривается в качестве первоочередного решения при освоении спутниковых месторождений. Ключевые элементы — добычные трубопроводы, умбиликалы и манифольды — обеспечивают возможность использования инфраструктуры принимающего объекта для подготовки и экспорта продукции. Это, как правило, повышает общую эффективность проекта за счёт снижения капитальных затрат (CAPEX) и сокращения сроков ввода в эксплуатацию. Основная причина



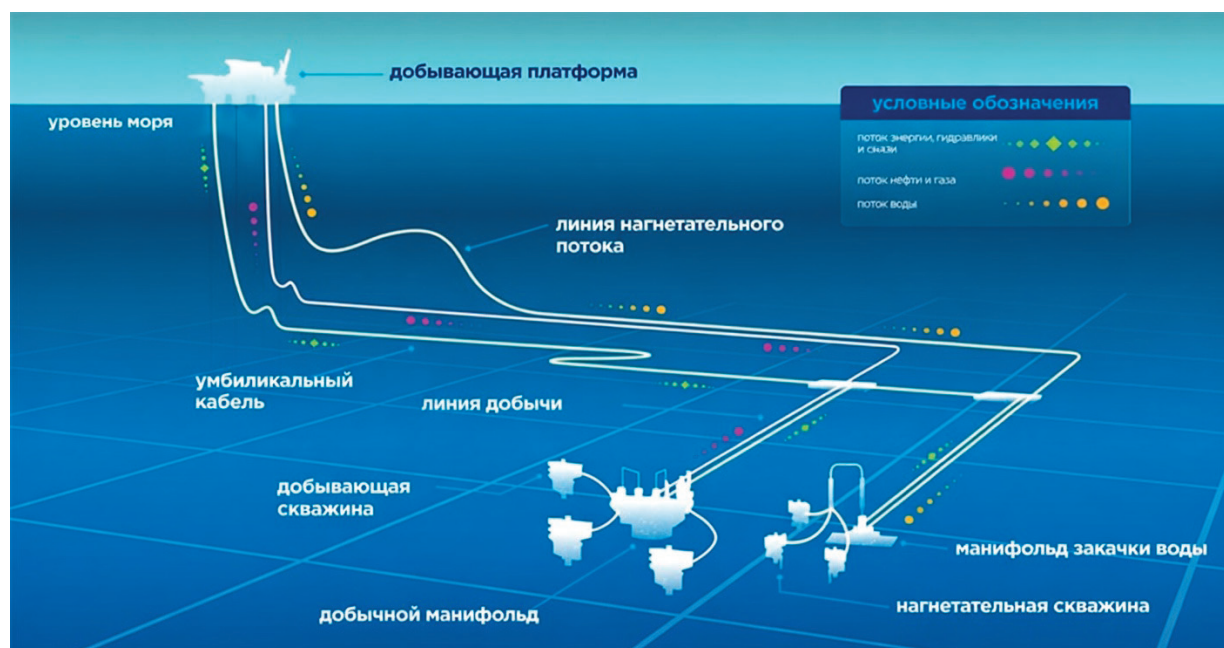


Рис. 1. Типовая система подводного подключения (subsea tie-back), демонстрирующая основные компоненты: добычные трубопроводы (flowlines), умбиликалы, манифольды и скважины

Источник: адаптировано по данным Chevron (2025).

заключается в отсутствии необходимости строительства и монтажа полноценного комплекса надводных сооружений, включая установки сепарации, компримирования и экспортную инфраструктуру.

## Результаты

В данном разделе проводится сравнительный анализ методов интеграции морских производственных объектов по ключевым критериям эффективности: CAPEX, OPEX, time to first production, availability и технические риски. Поскольку морские нефтегазовые проекты различаются по масштабу, удалённости и свойствам флюидов, универсально оптимального решения не существует; каждый подход эффективен лишь в определённых инженерно-геологических условиях.

Основной вывод заключается в том, что эффективность интеграции нельзя оценивать только через CAPEX. Хотя интегрированные решения на ранних стадиях кажутся экономически выгодными за счёт сокращения инфраструктуры, их реальная ценность определяется жизненным циклом: надёжностью, пропускной способностью принимающего объекта и стабильностью flow assurance.

**CAPEX:** Tie-back и совместное использование инфраструктуры снижают первоначальные инвестиции при наличии резервной мощности принимающего объекта. Однако модернизация (компрессия, обработка воды, экспорт) уменьшает экономию. Системы hub-and-spoke тре-

буют более высоких начальных затрат, но становятся эффективными при поэтапном подключении месторождений за счёт эффекта масштаба.

**OPEX:** Интеграция снижает операционные затраты за счёт объединения логистики и сервисов. Однако протяжённые tie-back системы могут увеличивать OPEX из-за роста потребности в реагентах, усложнения мониторинга и требований к целостности системы.

**Сроки реализации:** Tie-back обеспечивает наиболее быстрое начало добычи, hub-and-spoke зависит от строительства центрального объекта, а standalone проекты требуют максимального времени.

**Availability:** Интеграция повышает взаимозависимость элементов, и сбой центрального объекта может влиять на несколько месторождений, создавая скрытые потери добычи. Поэтому критичны надёжность, резервирование и координация остановок.

**Технические риски:** Основные ограничения связаны с flow assurance и возможностями принимающей инфраструктуры. Рост расстояний и глубины увеличивает сложность, а ограничения по компрессии, энергии и водообработке требуют дополнительных инвестиций.

**Вывод:** Tie-back оптимален для близких месторождений при наличии свободных мощностей. Hub-and-spoke подходит для поэтапного развития нескольких объектов, а standalone — для крупных или удалённых месторождений. Эффективность интеграции достигается только при комплексном учёте всех жизненных факторов проекта.

## Литература:

1. American Bureau of Shipping (ABS). Subsea Processing Systems Advisory. ABS, 2018.



2. American Petroleum Institute. API RP 17N: Recommended Practice on Subsea Production System Reliability, Technical Risk, and Integrity Management. API, 2017.
3. bp Exploration (Shah Deniz) Ltd. Shah Deniz Compression Project — Environmental and Social Impact Assessment (ESIA), Volume 1. bp Azerbaijan, 2025.
4. bp Exploration (Shah Deniz) Ltd. Shah Deniz Compression Project — ESIA Non-Technical Summary (NTS). bp Azerbaijan, 2025.
5. Chakrabarti S. Handbook of Offshore Engineering. 2 vols. Elsevier, 2005.
6. Chevron. Explainer: What is a tieback? // Chevron Newsroom. 15 May 2025.
7. DNV. DNV-RP-0002: Integrity management of subsea production systems. Edition 2019–09 (amended 2021–09). DNV, 2019.

## Этапы гранитоидного магматизма на Урале

Кадрметов Данил Ринатович, студент магистратуры  
Уфимский университет науки и технологий

*В статье представлен обзор этапов гранитоидного магматизма на Урале.*

**Ключевые слова:** Урал, гранитоидный магматизм, этапы магматизма, геодинамика.

Уральская складчатая система представляет собой внутриконтинентальный эпиконтинентальный ороген, геологическое строение которого представлено гранитоидами. На восточном склоне Урала гранитные массивы занимают до 30 % площади, а общий объём гранитоидного магматизма здесь сопоставим с крупнейшими гранитными поясами мира. Гранитоиды являются не только главными маркерами тектономагматической активности, но и прямыми индикаторами геодинамической эволюции региона — от стадии раскрытия палеоокеана до коллизионного столкновения континентальных блоков и постколлизионного растяжения. С разными этапами гранитоидного магматизма также связана специфическая минерализация: от колчеданных месторождений в островодужных комплексах до редкометалльных (вольфрам, молибден, бериллий) проявлений в коллизионных и постколлизионных гранитах. В связи с этим систематизация данных о возрасте, составе и геодинамической позиции гранитоидов Урала имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение для прогнозирования оруденения. Схема Уральской складчатой области представлена на рис. 1.

Гранитоидный магматизм Урала охватывает временной интервал от среднего рифея до поздней перми, однако основная масса гранитоидов сформировалась в палеозое (490–250 млн лет назад) [2].

На основе обобщения большого массива петрогеохимических и изотопно-геохронологических данных выделяется несколько главных этапов формирования гранитоидов, каждый из которых соответствует определённой геодинамической обстановке.

Начало палеозойского магматизма связано с заложением Уральского палеоокеана в раннепалеозойский (рифтогенный и раннеостроводужный) этап (490–445 млн лет). В ордовике на восточной окраине Восточно-Европейской платформы проявился магматизм, связанный

с активизацией рифтогенных разломов, синхронный формированию пассивной континентальной окраины [2]. В этот период формируются небольшие интрузивные тела и дайки, а также плагиогранитоиды, ассоциированные с офиолитовыми комплексами. Гранитоиды этого этапа имеют ограниченное распространение и часто переотложены в более молодых комплексах.

С развитием субдукционных процессов связано формирование островодужных гранитоидных серий в среднепалеозойское время. В силуре формируется Тагильская островная дуга с характерными габбро-гранитоидными и габбро-сиенитовыми сериями. В девоне (около 360 млн лет назад) активизируется Магнитогорская островная дуга на Южном Урале, где также формируются габбро-гранитоидные ассоциации. Эти комплексы характеризуются повышенной натриевостью (плагиограниты, тоналиты) и связаны с надсубдукционными обстановками. В этот же период (около 360 млн лет назад) на юго-восточном континенте формируются окраинно-континентальные тоналит-гранодиоритовые серии [3].

Дальше идет позднепалеозойский (коллизионный) этап гранитообразования на Урале, на который приходится до 80 % объёма всех гранитоидов. Он связан с коллизией Восточно-Европейской платформы и Казахского континента. Коллизия проходила в несколько фаз:

— раннеколлизионный этап (305–290 млн лет назад, Южный Урал): формируются гранитоиды, связанные с коллизией юго-восточного континента с Казахстаном;

— позднеколлизионный этап (260–250 млн лет назад): косая коллизия северо-западного и юго-восточного континентов приводит к образованию крупных гранитных батолитов.

Для коллизионных гранитов характерна повышенная калиево-натриевость (биотитовые и двуслюдяные граниты, лей-

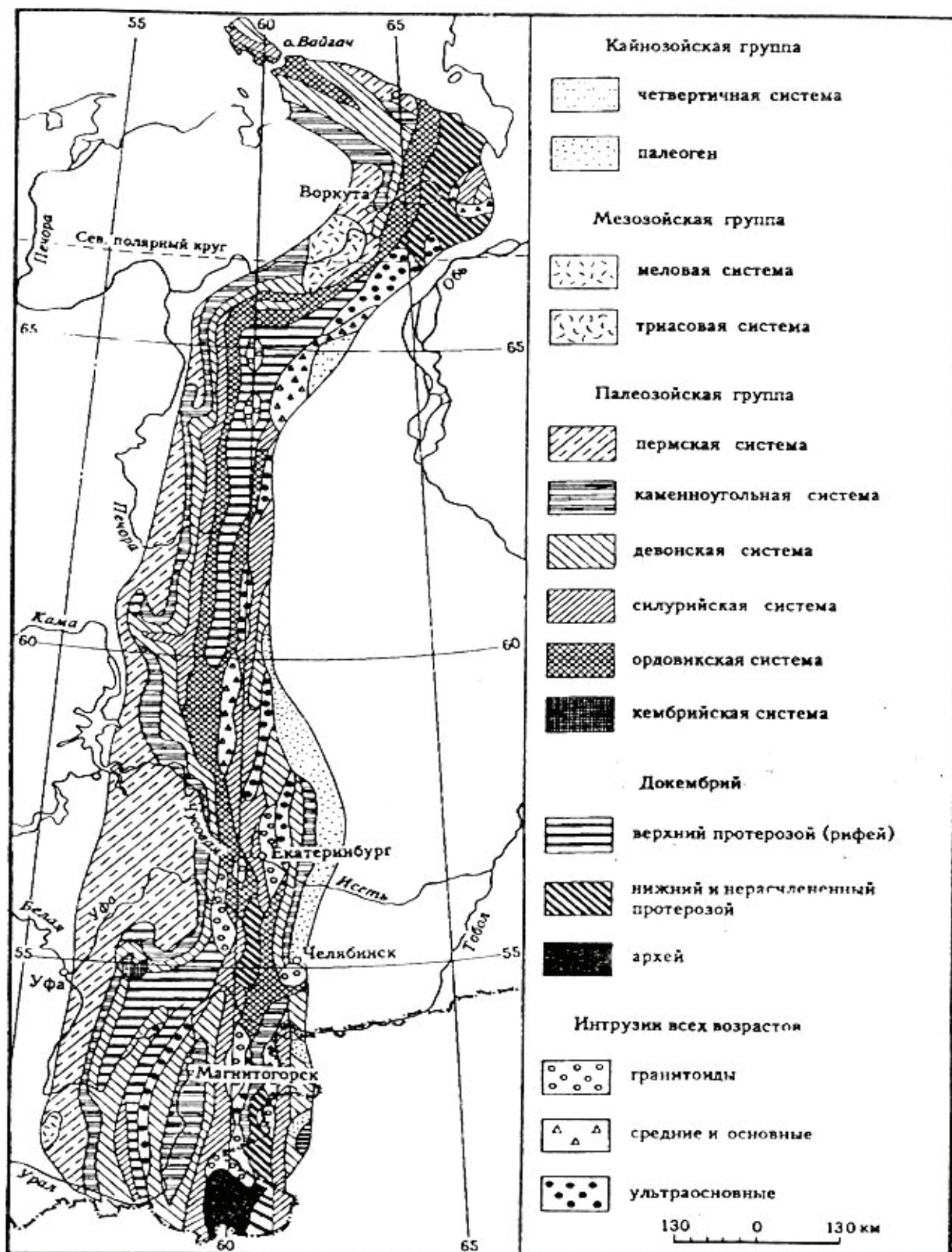


Рис. 1. Схема Уральской складчатой области [1]

кограниты), они несут редкометалльную минерализацию [3].

Завершающий этап — постколлизийный (280–220 млн лет) — магматизма связан с постороженным растяжением и формированием малых интрузий, даек и ще-

лочных гранитов. На юго-восточном континенте этот этап датируется 280–260 млн лет, на северо-западном — 240–220 млн лет. С этими образованиями связаны проявления редких металлов.

Для наглядности основные этапы сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сводная таблица этапов гранитоидного магматизма Урала

Этап	Возраст, млн лет	Геодинамическая обстановка	Типичные комплексы/ массивы	Состав гранитоидов
Раннепалеозойский (рифтогенный)	490–445	Рифтогенез, пассивная окраина	Плагиигранитоиды с офиолитами, малые тела	Плагииграниты, тоналиты
Среднепалеозойский (островодужный)	440–360	Субдукция (Тагильская, Магнитогорская дуги)	Габбро-гранитоидные и габбро-сиенитовые серии	Гранодиориты, тоналиты, адеманиты
Позднепалеозойский (коллизионный)	320–250	Коллизия континентов	Верхнеуральский, Челябинский, Верхисетский батолиты	Бититовые, двуслюдяные граниты, лейкограниты
Постколлизионный	280–220	Постороженное растяжение	Малые интрузии, дайки, щелочные граниты	Гранит-порфиры, щелочные граниты

Таким образом выделено четыре главных этапа гранитоидного магматизма на Урале. Каждый этап соответствует определённой геодинамической обстановке и характеризуется специфическими петрографическими типами гранитоидов. Установлено, что возраст гранитоидного магматизма закономерно молодеет с юга на север. Прослеживается чёткая эволюция источников гранито-

идных расплавов: от преимущественно мантийных на ранних островодужных этапах до коровых в пик коллизии и возврат к мантийно-коровым на постколлизионном этапе. Полученная схема этапности может быть использована при прогнозировании редкометалльного оруденения, связанного преимущественно с коллизионными и постколлизионными гранитоидами.

#### Литература:

1. Практикум по тектонике. — Текст: электронный // lib.nspu.ru: [сайт]. — URL: <https://lib.nspu.ru/umk/8ac74365c857c3ae/source/1310.html> (дата обращения: 18.04.2026).
2. Холоднов В. В., Шардакова Г. Ю., Пучков В. Н. Палеозойский гранитоидный магматизм Урала как отражение этапов геодинамической и геохимической эволюции коллизионного орогена // Геодинамика и тектонофизика. — 2021. — № 12 (2). — С. 225–245.
3. Ферштатер Г. Б. Гранитоидный магматизм и формирование континентальной земной коры в ходе развития Уральского орогена // Литосфера. — 2019. — № 1. — С. 31–45.



# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 17 (620) / 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 06.05.2026. Дата выхода в свет: 13.05.2026.

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](mailto:info@moluch.ru); <https://moluch.ru/>

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