

# МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



24 2026  
ЧАСТЬ II

16+

# Молодой ученый

## Международный научный журнал

### № 24 (627) / 2026

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

*Главный редактор:* Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

*Редакционная коллегия:*

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



*Международный редакционный совет:*

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

---

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Информацию собрала ответственный редактор  
Екатерина Осянина*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### **Большакова А. В.**

Технология производства защитных футляров для музыкальных инструментов: обзор материалов и рыночных аналогов .....69

#### **Булойчик Е. В.**

Усовершенствованная методика комплексной оценки качества и надёжности функционирования систем заземления с изолированной нейтралью в медицинских организациях в условиях влияния природно-инфраструктурных факторов конкретного региона .....71

#### **Воробей Н. В., Никулин В. В., Истомин А. А., Щипцов А. В., Хохлов Д. О., Якшин И. М.**

Перспективы развития обогащения полезных ископаемых.....76

#### **Галицкая Е. С.**

Влияние технологии погружения на продолжительность вмораживания свай в условиях вечной мерзлоты.....79

#### **Денисенко К. Д., Смирнов А. А.**

Разработка гиросtabilизированной платформы и исследование алгоритмов цифровой обработки сигналов инерциальных датчиков .....81

#### **Касымов Р. Р.**

Исследование систем, используемых для распределения газа в электрофильтрах.....87

#### **Кленин К. В.**

Классификация агродронов как робототехнических комплексов для выполнения сельскохозяйственных операций... 89

#### **Косенков А. С.**

Проектирование портативного устройства гибридного позиционирования .....92

#### **Локтионов В. А.**

Применение метода главных компонент для анализа влияния внешних факторов на надёжность работы электродвигателей системы вентиляции герметичной оболочки здания атомного реактора.....95

#### **Нуриев Р. З.**

Геодезическое сопровождение строительства дошкольного учреждения в условиях ревитализируемой промышленной территории .....99

#### **Рыков Д. А.**

Систематизация конструкторской документации страхующих устройств локализации течи для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС ..... 101

#### **Рыков Д. А.**

Разработка и практическая апробация библиотеки конструкторской документации страхующих устройств локализации течи в среде КОМПАСчертеж ..... 104

#### **Ситникова Д. Д.**

Использование инновационного бетона и фибробетона ..... 106

### АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

#### **Гунин М. С.**

Зональное фиброармирование как способ управления структурой фибробетона..... 109

#### **Короткова А. А., Рябова И. А.**

Архитектурные проекты адаптивных фасадов и многофункциональных комплексов..... 112

#### **Магомедкеримов М. А.**

К вопросу о медовых сотах в Нью-Йорке: архитектурный замысел и инженерная реализация проекта Vessel ..... 115

#### **Романенкова А. С.**

Факторы и ресурсные аспекты обеспечения организационно-технологической надёжности строительного производства ..... 116

#### **Семёнов М. С.**

Исследование взаимосвязи параметров пористой структуры и морозостойкости бетона на различных сроках твердения..... 119

#### **Умаров М. И., Аюбов М. А.**

Архитектурно-планировочные решения ледовой арены в городе Грозном ..... 125

#### **Шавлак А. В.**

Концептуальные основы разработки капсульной коллекции одежды: теория и методология ..... 127



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Технология производства защитных футляров для музыкальных инструментов: обзор материалов и рыночных аналогов

Большакова Алёна Вадимовна, студент  
Московский политехнический университет

*В статье рассмотрены современные технологии изготовления жёстких и полужёстких футляров для музыкальных инструментов. Приведена классификация используемых материалов (фанера, ударопрочный АБС-пластик, полимерные композиты с угле- и стекловолокном). Описаны ключевые технологические процессы — вакуумная термоформовка, литьё под давлением, одностадийное прессование композитов (One-Shot Press). Проведён сравнительный анализ продукции ведущих европейских производителей (Bam, GEWA, Jakob Winter), а также бюджетных аналогов. Выявлены зависимости между массой, ударопрочностью, влагостойкостью и стоимостью футляров. Намечены перспективные направления биоразлагаемые композиты и 3D-печать армированными нейлонами.*

**Ключевые слова:** защитные футляры, музыкальные инструменты, АБС-пластик, вакуумная формовка, литьё под давлением, композитные материалы, Bam, GEWA, Jakob Winter.

Сохранность музыкального инструмента при транспортировке и хранении напрямую зависит от характеристик защитного футляра. Ключевые требования — малая масса, высокая ударопрочность, влагостойкость, стабильность геометрии при перепадах температур. В течение последних трёх десятилетий произошёл переход от тяжёлых фанерных конструкций к облегчённым полимерным и композитным решениям. Однако на рынке по-прежнему представлены все технологические поколения, что затрудняет выбор для музыканта. Цель настоящей работы — систематизировать данные о материалах и технологиях производства футляров, а также провести сравнительный анализ существующих на рынке аналогов.

До конца XX века основным материалом служила берёзовая фанера (реже бук). Технология включает раскрой листов, фрезерование пазов для стыковки, формовку в прессе с одновременным склеиванием полиуретановыми или эпоксидными составами. Преимущества — дешевизна, ремонтпригодность, доступность оснастки. Недостатки — большая масса (4–6 кг для скрипичного кейса), гигроскопичность, деформации при намокании или перепадах влажности.

Основной материал современного среднего и премиум-сегмента — ударопрочный АБС-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол) с модификаторами. Используются двухслойные структуры: внешний сплошной слой и внутренний вспененный. Реже применяют полипропилен с тальком (более дешёвый, но менее прочный). Для вну-

треннего ложементы применяют двухкомпонентные полиуретановые пены, заливаемые в форму с инструментом — это обеспечивает точное повторение контуров.

В профессиональных сериях (например, Bam Supreme) используются гибридные композиты — углеволокно, кевлар или стекловолокно, пропитанные термореактивными смолами (полиэфирными, винилэфирными). Удельная прочность таких оболочек при толщине 1,8–2,5 мм в 2–3 раза выше, чем у АБС-пластика той же массы.

Вакуумная термоформовка. Лист АБС толщиной 2–4 мм нагревается до 180–220 °С и вакуумом втягивается в алюминиевую матрицу. Цикл — 30–40 секунд. Недостаток — неравномерная толщина стенок (истончение в углах до 0,8 мм). Применяется в массовом производстве (GEWA Student, Jakob Winter базовые серии).

Литьё под давлением в стальные формы. Расплав АБС впрыскивается под давлением до 1500 бар. Обеспечивает равномерную толщину стенок, возможность интеграции закладных деталей. Высокая стоимость пресс-форм (40–100 тыс. евро) окупается при тиражах от 10 тыс. штук. Используется GEWA для серии SafeLine.

Технология One-Shot Press (Bam). Сухие слои угле- или стекловолокна закладываются в двухстороннюю форму, затем под давлением 50 т впрыскивается термореактивная смола. Отверждение при 140 °С за 3–5 минут. Позволяет получать монолитную оболочку с высокой точностью геометрии и минимальной массой.

Для сравнения были выбраны пять основных производителей, чья продукция представлена в России и Европе.



## 1. Vam (Франция)

Материал: угле- и стекловолокно, технология One-Shot Press. Ценовой сегмент: 150–400 евро (скрипка). Масса футляра для скрипки — 1,8–2,2 кг. Отличительные особенности: фурнитура из латуни с байонетным замком, внутренняя отделка Alcantara. Недостаток: сложность ремонта — трещины в композите практически не подлежат восстановлению.

## 2. GEWA (Германия)

Широкая линейка — от фанерных Student (4,5 кг, 70–100 евро) до литевых ABC SafeLine (2,8 кг, 150–200 евро). Используется двойная стенка: АБС + вспененный полиэтилен. Заявлена влагозащита IP67 для топ-моделей. Минус: люфт петель при интенсивной эксплуатации.

## 3. Jakob Winter (Германия)

Специализация- термоформованный АБС с трёх-слойной структурой WinterLam (АБС + бутадие-стирольный эластомер + АБС). Противоударные углы из термоэластопласта (ТРЕ). Масса скрипичного футляра — около 2,5 кг, цена — 80–200 евро. Недостаток: поверхностное «мелование» через 5–6 лет под действием УФ-излучения.

## 4. Protec (США)

Полужёсткая конструкция: пеноматериал с внешним слоем Cordura, по периметру — алюминиевый профиль. Масса минимальна (1,2–1,5 кг), защита от ударов — ограниченная. Не подходит для авиаперевозок. Цена — 60–120 евро.

## 5. Hiscox (Великобритания)

АБС с сотовым заполнением, оригинальная система замка-трещётки. Высокая прочность, но большая масса (для трубы — 3,8 кг). Цена — 180–300 евро.

## 6. Бюджетные аналоги (Tonareli, Китай)

Копии композитных технологий со стекловолокном низкого качества. Внутреннее покрытие склонно к отслаиванию, стойкий химический запах. Цена — 40–80 евро. Рекомендованы только при крайне ограниченном бюджете.

Сопоставление характеристик позволяет выделить следующие закономерности:

1. Снижение массы достигается применением композитов (Vam) или полужёстких конструкций (Protec), но во втором случае падает ударопрочность.

2. Литё под давлением даёт наилучшую повторяемость геометрии, но экономически оправдано только для крупных серий.

3. Вакуумная формовка остаётся «золотой серединой» для сегмента 100–200 евро.

4. Фанерные футляры сохраняют позиции в начальном обучении благодаря низкой цене и ремонтпригодности, несмотря на высокую массу.

Отдельного внимания заслуживают перспективные технологии. В лабораторных условиях испытываются биоразлагаемые композиты на основе полимолочной кислоты (PLA) с льняным волокном. Их основной недостаток — низкая устойчивость к ударам и влаге. Альтернативой служит 3D-печать нейлоном, армированным углеволокном (марки XT-CF20). Печать половинок футляра занимает до 40 часов, себестоимость — около 300 евро без фурнитуры, но метод позволяет изготавливать уникальные формы без дорогостоящей оснастки.

Проведённый анализ показал, что выбор материала и технологии производства футляра определяется целевым бюджетом, требуемой прочностью и массой. Для повседневных занятий оптимальны термоформованные АБС-кейсы (Jakob Winter, базовые GEWA). Профессиональные гастролирующие музыканты предпочтут композитные футляры Vam или литевые GEWA SafeLine. Дешёвые китайские аналоги имеют ограниченный ресурс. В ближайшие 5–7 лет вероятно появление бюджетных композитных изделий из Юго-Восточной Азии с приемлемым качеством и адаптация аддитивных технологий для мелкосерийного и индивидуального производства.

## Литература:

1. Детали и аксессуары для струнных инструментов: полное руководство по инновациям, тенденциям и лучшим моделям. Alibaba Reads, 2024. URL: <https://reads.alibaba.com> (дата обращения: 07.06.2026).
2. Post-forming deformation and thermal residual stress prediction in vacuum thermoformed ABS sheets. ScienceDirect, Elsevier, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612525011788> (дата обращения: 07.06.2026).
3. Вакуумная формовка. Материал из Википедии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Вакуумная\\_формовка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вакуумная_формовка) (дата обращения: 07.06.2026).
4. Литё пластмасс под давлением: полное руководство. Formlab. URL: <https://formlab.ru/blog-page/lityo-plastmass-davleniem-polnoe-rukovodstvo> (дата обращения: 07.06.2026).
5. GEWA Guitar case ABS Premium. Официальный сайт GEWA music. URL: <https://www.gewamusic.com/product/gewa-guitar-case-abs-premium/1966> (дата обращения: 07.06.2026).
6. Jakob Winter JW-2195-CA Carbon Design Футляр. Интернет-магазин «Музмарт». URL: <https://muzmart.com/store/115064> (дата обращения: 07.06.2026).
7. Jakob Winter JW-1015-V Футляр для альта. Интернет-магазин DM Music. URL: <https://dm-music-vladivostok.ru> (дата обращения: 07.06.2026).
8. CYCOLAC™ Resin. Официальный сайт SABIC. URL: <https://www.sabic.com/en/products/polymers/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs/cycolac-resin> (дата обращения: 07.06.2026).



## Усовершенствованная методика комплексной оценки качества и надёжности функционирования систем заземления с изолированной нейтралью в медицинских организациях в условиях влияния природно-инфраструктурных факторов конкретного региона

Булойчик Евгений Вячеславович, студент магистратуры  
Тверской государственной технической университет

*В статье автор поясняет особенности учёта и оценки влияния природно-инфраструктурных факторов конкретного региона РФ на качество и надёжность функционирования систем заземления медицинских организаций этого региона. Раскрывается суть усовершенствованной методики, с помощью которой выполнялись указанные учёт и оценка.*

**Ключевые слова:** природно-инфраструктурные факторы, регион, системы заземления ИТ медицинских организаций.

Как известно из [1; 2; 3], природные и инфраструктурные условия и факторы способны существенно влиять на надёжность и безопасность функционирования систем заземления работающих электроустановок. Это особенно важно для медицинских организаций, в которых используются особые помещения, классифицируемые в соответствии с [4] как помещения группы 2. Перечень таких помещений приведен в табл. 1.

Таблица 1. Название и предназначение медицинских помещений группы 2

№ п/п	Название медицинских помещений	Предназначение медицинских помещений
1	Анестезиологический кабинет	Помещение, где применяется оборудование для поддержания жизненно важных функций пациента во время операций или других процедур
2	Операционная	Помещения для проведения хирургических операций, где используется оборудование, от которого зависит жизнь пациента
3	Кабинет для подготовки к операциям	Помещение, где пациенты проходят предварительные процедуры перед хирургическим вмешательством
4	Травматологический кабинет	Помещение для приёма пациентов с травмами опорно-двигательного аппарата (переломами, вывихами, ушибами, растяжениями)
5	Послеоперационная палата	Комнаты, где пациенты находятся в критическом состоянии и требуют постоянного мониторинга и поддержки
6	Кабинет для введения сердечных катетеров	Кабины, где проводятся процедуры с использованием электродов для электростимуляции или внутрисердечных электродов ЭКГ, а также других инструментов, контактирующих с сердцем
7	Кабинет реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ, ОАРИТ)	Палаты, где пациенты находятся под наблюдением с использованием электронного медицинского оборудования, а при необходимости проводится стимуляция органов
8	Кабинет для ангиографии	Кабинеты, где проводятся процедуры с использованием рентгеновского оборудования для исследования сосудов, что требует стабильного электроснабжения
9	Кабинет для магнитно-резонансной томографии (МРТ)	Специализированное помещение для проведения МРТ-исследований
10	Кабинет для недоношенных детей	Комнаты, где используется оборудование для поддержания температуры, дыхания и других жизненно важных функций новорождённых
11	Отделение промежуточной помощи	Помещение для пациентов, состояние которых стабильнее, чем в отделении интенсивной терапии, но которые ещё не могут находиться в обычной палате

В этих помещениях к используемым в них системам заземления предъявляются особые требования, так как их надёжное функционирование в основном является гарантией жизни пациентов и медицинского персонала этих помещений. В связи с этим в помещениях группы 2 используются системы заземления ИТ (Isolated terra).

Система IT — это система заземления, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или соединена с землёй через большое сопротивление. В такой системе открытые проводящие части электроустановки заземляются независимо от способа заземления нейтрали источника.

В системе IT все проводящие части медицинского оборудования, доступные для прикосновения, надёжно заземляются, что снижает риск поражения пациента или персонала при случайном контакте с токоведущими элементами. В случае первого замыкания фазы на землю в системе IT ток повреждения крайне мал и не вызывает отключения повреждённой цепи. Это позволяет продолжить работу электроустановки до планового устранения повреждения, что очень важно, например, для сохранения жизни тех пациентов, которые подключены к системам жизнеобеспечения (искусственное сердце, аппараты ИВЛ и т. п.).

Обязательным элементом системы IT в медицинских помещениях является устройство контроля изоляции [5]. Оно непрерывно отслеживает состояние изоляции сети и подаёт сигнал при снижении сопротивления изоляции ниже установленного значения (обычно 50 кОм). Это позволяет своевременно обнаруживать первичные нарушения изоляции и предотвращать аварийные ситуации. В операционных и реанимационных помещениях критически важно защитить пациента от микрошока — поражения электрическим током при приложении даже небольшой разницы потенциалов к сердечной мышце. Система IT минимизирует риск такого поражения за счёт использования надёжной изоляции нейтрали и заземления проводящих частей.

Рассмотрим приведенную на рис. 1 электрическую модель системы заземления [3].

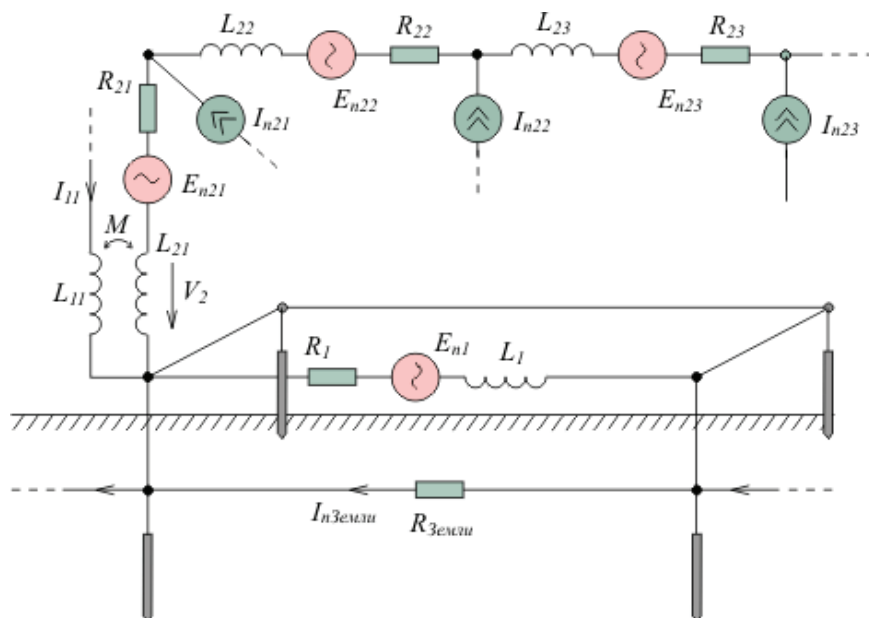


Рис. 1. Электрическая модель системы заземления

В соответствии с классификацией ГОСТ Р МЭК 60050-195-2005 [6] эта модель состоит из двух основных классов заземлений:

- защитное. Общепринятая маркировка шин или проводников такого заземления — PE (protective earth);
- функциональное (информационное). Общепринятая маркировка шин или проводников такого заземления — FE (functional earth).

В этом же стандарте приведены следующие определения:

- защитное заземление (protective earthing, protective grounding) — заземление точки или точек системы, установки или оборудования в целях электробезопасности;
- функциональное заземление (functional earthing, functional grounding) — заземление точки или точек системы, установки или оборудования в целях, отличных от целей электробезопасности.

Таким образом, основным предназначением защитного заземления является надёжное обеспечение электробезопасности (защиты людей от поражения их электричеством), а функционального — надёжное обеспечение непосредственно работы самой электроустановки.

Из рис. 1 видно, что система заземления состоит из заземляющих электродов, соединенных между собой сплошной шиной, к которой приварена клемма заземления. К клемме подсоединены, к примеру, две шины (два проводника) заземления, к которым в различных местах подключено заземляемое оборудование. И если шины заземления или заземляющие проводники проходят близко один от другого, то между ними существует магнитная связь с коэффициентом

взаимной индукции  $M$ . В свою очередь, участок проводника (шины) системы заземления имеет индуктивность  $L_{nn}$ , сопротивление  $R_{nn}$  и в нём наводится ЭДС помехи  $E_{Пnn}$  путём электромагнитной индукции. На разных участках шины заземления к ней подсоединено оборудование автоматики, которое поставляет в шину заземления ток помехи  $ИП21$ , ...,  $ИП23$  и ток цепей питания, возвращающийся к источнику питания по шине земли. На рис. 1 изображено также сопротивление между электродами  $R_{Земли}$  и ток помехи  $ИП_{Земли}$ , протекающий по земле, например при ударах молнии или при коротком замыкании мощного оборудования на землю. Таким образом, как отмечается в [3], при частотах более 1 МГц возрастает роль индуктивного сопротивления цепи заземления, а также ёмкостной и индуктивной связи между её участками. При этом провода заземления начинают излучать электромагнитные волны и сами становятся источниками помех. В связи с этим для функционального заземления очень важен такой конструктивный подбор характеристик его элементов и общего их расположения в конструкции этого заземления, при котором минимизируется непосредственное влияние токов высокой частоты и низкой амплитуды появляющихся помех на работу используемого электрического оборудования. Тем самым обеспечивается электромагнитная совместимость этого оборудования.

Методы обеспечения надёжной работы функционального заземления практически не отличаются своей спецификой для каждого региона РФ и определяются требованиями вышеприведенных нормативных документов для этого класса заземления. Однако есть важные факторы: специфика геометрической конструкции зданий медицинских организаций на конкретной территории конкретного региона РФ (со своей металлической арматурой и вынужденной длиной функционально заземляющих проводников в этих зданиях); расположение этих зданий вблизи иных сооружений с электрическими установками, способными воспроизводить внешние помехи; посторонняя силовая кабельная сеть и т. д. Всё это относится к тем инфраструктурным факторам регионального характера, которые оказывают непосредственное влияние на качество функционирования функционального заземления конкретной медицинской организации региона и обуславливают по своей выраженной совокупности непосредственную специфику влияющих на это заземление региональных инфраструктурных условий. То же самое касается и реализации мер обеспечения надёжности и качества функционирования защитного заземления конкретной медицинской организации, расположенной на территории конкретного региона РФ.

Из рис. 1 видно, что заземлители защитного заземления, а также в ряде случаев соединяющая их металlosвязь (проводники) располагаются в земле. В связи с этим контур защитного заземления (в основном его заземлители, с учётом глубины их погружения в землю) постоянно подвержен влиянию физико-химических свойств участка почвы данной территории. Этот участок почвы характеризуется не только сопротивлением грунта своего типа, но и особенностями непосредственного воздействия климатических условий данного региона на физико-химические свойства грунта. Это в той или иной мере способствует активности влияния данных свойств на качество функционирования расположенных в земле элементов защитного заземления (заземлителей и их металlosвязи).

Таким образом, с одной стороны, в настоящее время в Российской Федерации создана и используется универсальная, стандартизированная, нормативно-правовая и методическая база, обеспечивающая основу проектирования и эксплуатации систем энергоснабжения, заземления и электробезопасности для различных промышленных, бытовых, хозяйственных и медицинских объектов каждого региона РФ.

С другой стороны, универсальность практического использования такой нормативно-правовой базы применительно к конкретному региону РФ требует дополнительного учёта специфики влияния природных и инфраструктурных факторов этого региона, поскольку к этой специфике известные методики нормативно-правовой базы не чувствительны.

В связи с этим природные и инфраструктурные условия региона были формализованы в соответствующие группы показателей, которые затем и были учтены в общепринятых методиках существующей нормативно-правовой базы. Это позволило создать усовершенствованную методику (в двух частях А и Б) комплексной оценки качества и надёжности функционирования систем заземления ИТ медицинских организаций в условиях влияния на них природно-инфраструктурных факторов конкретного региона (см. табл. 2).

**Таблица 2. Часть А. Усовершенствованная методика комплексной оценки качества и надёжности функционирования систем заземления ИТ медицинских организаций с учётом влияния природно-инфраструктурных факторов конкретного региона**

Название методики	Нормативный документ	Основные показатели	Усовершенствованная формула расчета
Измерение сопротивления заземления	ГОСТ Р 50571.16-2007	$R_{\text{ЗАЗЕМ}} \leq 4 \text{ Ом}$	$R_{\text{КОРР}} = R_{\text{ИЗМ}} \cdot K_{\text{ВЛ}} \cdot K_{\text{ТЕМП}}$
Контроль изоляции	ГОСТ 50571.3-2009, Правила устройства электроустановок	$R_{\text{ИЗОЛ}} \geq 50 \text{ кОм}$	$R_{\text{ИЗОЛ КОРР}} = \frac{U_{\text{ИСП}}}{I_{\text{УТ}}}$

Таблица 2 (продолжение)

Название методики	Нормативный документ	Основные показатели	Усовершенствованная формула расчета
Анализ аварийности	РД 153-34.0-20.363-2003	Частота отключений, длительность пере-рывов	$K_{\text{сезон}} = \frac{N_{\text{АВАРИЙ ЗИМА}}}{N_{\text{АВАРИЙ ЛЕТО}}}$
Оценка надёжности	ГОСТ Р 54133-2010	MTBF	$MTBF_{\text{КОРР}} = MTBF \cdot (1 - 0,02 \cdot \text{износ}) \cdot K_{\text{ТЕМП}}$
Расчет напряжения прикосновения	ГОСТ Р 50571.3-2009, Правила устройства электроустановок	$U_{\text{пр}} \leq 25 \text{ В}$	$U_{\text{пр}} = I_3 \cdot R_{\text{ЗАЗЕМ}}$
Оценка влияния электромагнитных помех	ГОСТ Р 51317.4.5-2000	$U_{\text{ПОМЕХ}}, K_{\text{МЕД}}$	$K_{\text{МЕД}} = \frac{U_{\text{ПОМЕХ}}}{U_{\text{НОМ}}}$
Расчет интегрального индекса электробезопасности	Разработано автором	$I_{\text{ЭБ}} \geq 0,9$	$I_{\text{ЭБ}} = \frac{R_{\text{НОРМ}}}{R_{\text{КОРР}}} \cdot \frac{R_{\text{ИЗОЛ НОРМ}}}{R_{\text{ИЗОЛ КОРР}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{СЕЗОН}}} \cdot \frac{MTBF_{\text{НОРМ}}}{MTBF_{\text{КОРР}}} \cdot (1 - K_{\text{МЕД}})$

где:

$R_{\text{КОРР}}$  — скорректированное значение измеренного сопротивления заземления, Ом;

$R_{\text{ИЗМ}}$  — непосредственная величина измеренного сопротивления заземления, Ом;

$K_{\text{ВЛ}}$  — коэффициент влажности;

$K_{\text{ТЕМП}}$  — коэффициент температуры в зависимости от температуры воздуха ( $t_{\text{ВОЗД}}$ );

$I_{\text{УТ}}$  — однократно измеренное по базовой методике значение сопротивления изоляции;

$N_{\text{АВАРИЙ ЗИМА}}$  — количество аварий за зимний сезон;

$N_{\text{АВАРИЙ ЛЕТО}}$  — количество аварий за летний сезон;

$T_{\text{ОБЩ}}$  — общее время наблюдения, ч;

$N_{\text{ОТК}}$  — число отказов (количество раз за период);

MTBF — расчётное значение показателя надёжности электроснабжения с учётом износа кабельных сетей и климатических нагрузок, ч;

$K_{\text{ТЕМП}}$  — температурный коэффициент;

износ — процент износа кабелей;

$U_{\text{пр}}$  — расчётное значение напряжения прикосновения, В;

$I_3$  — ток замыкания, А;

$R_{\text{ЗАЗЕМ}}$  — сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$U_{\text{ПОМЕХ}}$  — уровень помех, В;

$U_{\text{НОМ}}$  — номинальное напряжение сети (220 В);

$R_{\text{НОРМ}}$  — нормативное сопротивление заземления (4 Ом);

$R_{\text{КОРР}}$  — скорректированное сопротивление заземления, Ом;

$R_{\text{ИЗОЛ НОРМ}}$  — норма сопротивления изоляции (50 кОм);

$R_{\text{ИЗОЛ КОРР}}$  — скорректированное сопротивление изоляции, Ом;

$K_{\text{СЕЗОН}}$  — коэффициент сезонности;

$MTBF_{\text{НОРМ}}$  — нормативный показатель надёжности, ч;

$MTBF_{\text{КОРР}}$  — скорректированный показатель надёжности, ч;

$K_{\text{МЕД}}$  — коэффициент влияния помех от медицинского оборудования;

Критерии оценки:

- $I_{\text{ЭБ}} \geq 0,9$  — электробезопасность соответствует нормам;
- $0,7 \leq I_{\text{ЭБ}} < 0,9$  — требуются профилактические меры;
- $I_{\text{ЭБ}} < 0,7$  — необходима срочная модернизация.



## Часть Б. Модель расчёта экономической эффективности мероприятий

Основная суть методики заключается в следующем. Размер затрат от внедрения рекомендаций вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{СУМ}} = Z_{\text{ОБ}} + Z_{\text{МОНТ}} + Z_{\text{ЭКСПЛ}}, \quad (1)$$

где  $Z_{\text{СУМ}}$  — общие затраты, руб.;

$Z_{\text{ОБ}}$  — стоимость оборудования, руб.;

$Z_{\text{МОНТ}}$  — затраты на монтаж, руб.;

$Z_{\text{ЭКСПЛ}}$  — эксплуатационные расходы, руб.

Размер предотвращённого ущерба от внедрения рекомендаций вычисляется по формуле:

$$Y_{\text{ПРЕД}} = Y_{\text{ДО}} - Y_{\text{ПОСЛЕ}}, \quad (2)$$

где  $Y_{\text{ПРЕД}}$  — предотвращённый ущерб, руб/год;

$Y_{\text{ДО}}$  — нанесенный ущерб (аварии, простои), руб/год;

$Y_{\text{ПОСЛЕ}}$  — зафиксированный ущерб после внедрения рекомендаций, руб/год.

Срок окупаемости затрат (в годах) после внедрения рекомендаций вычисляется по формуле:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{Z_{\text{СУМ}}}{Y_{\text{ПРЕД}}}. \quad (3)$$

Пример расчёта для условной больницы. Исходные данные:

$Z_{\text{ОБ}} = 300$  тыс. руб. (устройства контроля изоляции УКИ-1, кабели, устройства защитного отключения);

$Z_{\text{МОНТ}} = 100$  тыс. руб.;

$Z_{\text{ЭКСПЛ}} = 50$  тыс. руб/год;

$Y_{\text{ДО}} = 800$  тыс. руб/год;

$Y_{\text{ПОСЛЕ}} = 180$  тыс. руб/год.

Для этих данных в соответствии с формулами (1), (2) и (3) получаем следующие значения общих затрат, предотвращённого ущерба и срока окупаемости:

$$Z_{\text{СУМ}} = 300 + 100 + 50 = 450 \text{ тыс. руб.};$$

$$Y_{\text{ПРЕД}} = 800 - 180 = 620 \text{ тыс. руб/год};$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{450}{620} \approx 0,73 \text{ года (8,7 месяцев)}.$$

Промежуточный вывод: реализованные мероприятия экономически целесообразны.

Таким образом, совокупность усовершенствованной методики комплексной оценки (часть А) и модели расчёта экономической эффективности мероприятий (часть Б) обеспечивает возможность количественно оценить влияние формализованных природно-инфраструктурных факторов региона на качество и надёжность функционирования систем заземления ИТ медицинских организаций.

### Литература:

1. Карякин, Р. Н. Заземляющие устройства промышленных электроустановок / Р. Н. Карякин, В. И. Солнцев. — Москва : Энергоатомиздат, 1989. — 191 с.
2. Старикова, Е. Ю. Исследование коррозионной агрессивности почв / Е. Ю. Стариков, М. В. Зуев, В. С. Ягин // Химия и химическая технология: достижения и перспективы. Материалы VI Всероссийской конференции, Кемерово, 29–30 ноября 2022 г. — Кемерово : Кузбасский государственный университет имени Т. Ф. Горбачева, 2022. — С. 230–238.
3. Энциклопедия АСУ ТП, раздел 3.2 «Заземление» / Reallab.ru [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.reallab.ru/bookasutp/3-zashita-ot-pomeh/3-2-zazemlenie/> (дата обращения 27.04.2026).
4. ГОСТ Р 50571.28-2006 (МЭК 60364-7-710:2002). Электроустановки зданий. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений [Текст] / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Москва : Стандартинформ, 2007. — 21 с.
5. ГОСТ Р 50571.7.710-2023. Электроустановки низковольтные. Часть 7-710. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки медицинских помещений. — Москва : ФГБУ «РСТ», 2023.
6. ГОСТ Р МЭК 60050-195-2005. Заземление и защита от поражения электрическим током. Термины и определения. — Москва : Стандартинформ, 2006. — 24 с. — Текст: непосредственный.

## Перспективы развития обогащения полезных ископаемых

Воробей Никита Викторович, студент;  
Никулин Вадим Витальевич, студент;  
Истомин Алексей Александрович, студент;  
Щипцов Алексей Вячеславович, студент;  
Хохлов Дмитрий Олегович, студент;  
Якшин Илья Михайлович, студент

Научный руководитель: Александрова Елена Борисовна, кандидат технических наук, доцент  
Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова

*В данной статье авторы рассматривают историю развития основных способов обогащения полезных ископаемых, применяемых в горной промышленности.*

**Ключевые слова:** обогащение, полезные ископаемые, концентрат, ценный компонент, руда.

Главная цель обогащения состоит в том, чтобы отделить пустую породу от ценного минерала, повысив концентрацию полезного компонента. Результатом является получение товарного продукта, соответствующего требованиям к сырью для металлургической, топливно-энергетической и др. отраслей промышленности. Далее введем некоторые определения для лучшего понимания процесса обогащения полезных ископаемых.

Полезное ископаемое — это природное минеральное образование в земной коре неорганического и органического происхождения, химический состав и физические свойства, которых позволяют использовать их в сфере материального производства. Руда представляет собой полезное ископаемое, в котором находится достаточное количество ценных компонентов для того, чтобы их извлечение при современном состоянии науки, техники и технологий было экономически целесообразным.

В ходе обогатительных процессов полезное ископаемое разделяется на три основных продукта: концентрат, промежуточный продукт и хвосты. (рис.1)

Концентрат содержит во много раз больше полезного вещества, чем в исходной руде и может направляться на дальнейшую переработку, например, на окускование.

Отвальные хвосты являются отходами обогащения полезных ископаемых, в которых содержание полезного компонента ниже, чем в исходном сырье и дальнейшее обогащение экономически не целесообразно.

**Промежуточные продукты** — характеризуются более низким по сравнению с концентратами и более высоким по сравнению с хвостами содержанием полезных компонентов. Они подвергаются дополнительной переработке для получения кондиционного концентрата и отвальных хвостов.

История развития обогатительных процессов неразрывно связана с техническим прогрессом человеческой цивилизации: от простого подбора камней для орудий труда до сложных механизированных комплексов.

Древнейшим методом обогащения следует считать ручную рудоразборку. Еще в эпоху неолита люди разделяли минералы по цвету, блеску, твердости и форме, отбирая наиболее прочные породы. Этот примитивный, но эффективный метод стал прообразом современных процессов сортировки полезных ископаемых.

Следующим значительным этапом стало открытие промывки — первого гравитационного процесса, основанного на разнице в плотности разделяемых минералов.



Рис. 1. Продукты обогащения

Золото, обладающее высокой плотностью, оседало на дне лотка или шлюза, в то время как легкие песок и глина смывались потоком воды. Устройства для промывки — деревянные лотки, шлюзы из бараньих шкур, бутары — были известны еще во времена Геродота.

XIX век стал эпохой коренных преобразований в обогащении. Интенсивное развитие механических методов началось с середины столетия, что было связано с ростом промышленности и необходимостью переработки полезных ископаемых.

В 1830–1840 годах в Германии появились первые механизированные поршневые отсадочные машины, представлена на рис. 2, в них разделяемый материал находится на решетке. При вертикальных пульсациях воды слой материала попеременно разрыхляется и уплотняется. В результате тяжелые частицы концентрируются в нижних слоях, а легкие — в верхних. После остановки пульсаций слои отдельно разгружаются. В них колебания воды создавались движением поршня в отдельной камере. Прорывом стало изобретение беспоршневой отсадочной машины Ф. Баумом (Германия) в 1891 году, где пульсации создавались за счет попеременного подвода сжатого воздуха под решето.

Развитие электротехники во второй половине XIX века привело к созданию принципиально новых методов разделения.

Магнитная сепарация использует разницу в магнитной восприимчивости минералов. Механизация процесса началась в конце XVIII века. В 1792 году В. Фуллер (Англия) запатентовал первую конструкцию для магнитной сепарации железной руды.

Дальнейший прогресс был связан с созданием электромагнитов. В 1901 году Л. Блек и Д. Моршер (США) предложили сепаратор для разделения проводников и диэлектриков, а в 1905 году Г. Гуфф усовершенствовал его, создав конструкцию с вращающимся барабаном-электродом. В этом аппарате проводящие частицы теряли заряд и отскакивали, а непроводящие прилипали к барабану. В России первый отечественный барабанный магнитный сепаратор создал В. А. Петров в 1911 году.

Электрическая сепарация, основанная на различии в электропроводности или диэлектрической проницаемости, также получила развитие на рубеже XIX–XX веков.

В XX веке впервые появилась флотация и она сразу стала самым революционным методом, позволившим вовлечь в переработку цветные металлы. Флотация — это обогащение полезных ископаемых, характеризуется избирательным прилипанием частиц к поверхности двух фаз: жидкость — газ; жидкость — жидкость и др. В основе метода лежит различная смачиваемость поверхности минералов. Гидрофобные частицы прилипают к пузырькам воздуха и всплывают на поверхность пульпы, образуя пенный слой, в то время как гидрофильные остаются в воде.

Первые промышленные флотационные машины появились около 1910 года. Их создали американские учёные **Т. Гувер** (машина механического типа, 1910 год) и **Д. Кэллоу** (машина пневматического типа, 1914 год). К 1930-м годам флотация стала основным методом обогащения руд цветных и редких металлов, что навсегда изменило облик горно-обогатительной промышленности.

В настоящее время обогатительные фабрики представляют собой мощные высокотехнологичные, высокомеханизированные и автоматизированные промышленные предприятия со сложными технологическими процессами и схемами, насыщенные разнообразными машинами и аппаратами. Современные обогатительные предприятия все чаще внедряют цифровые технологии в свои производственные процессы. На некоторых фабриках устанавливаются такие системы как «Умные советчики», и всеобъемлющие комплексные системы типа «Умный ГОК» с применением беспилотной карьерной техники. Большой вклад в развитие обогатительной отрасли вносится как учеными, так и производителями оборудования.

Система «Умный советчик» — это интеллектуальный помощник, который в режиме реального времени анализирует данные технологического процесса и выдаёт рекомендации операторам обогатительного оборудования.

Основные преимущества «Умного советчика»:

- повышение оперативности реагирования на отклонения в процессе;

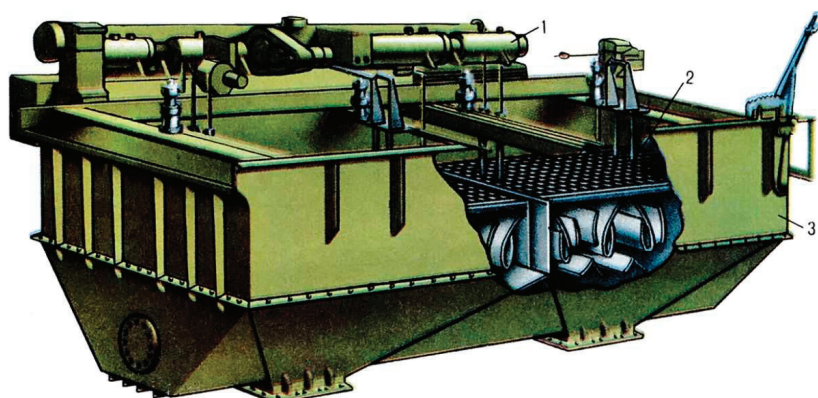
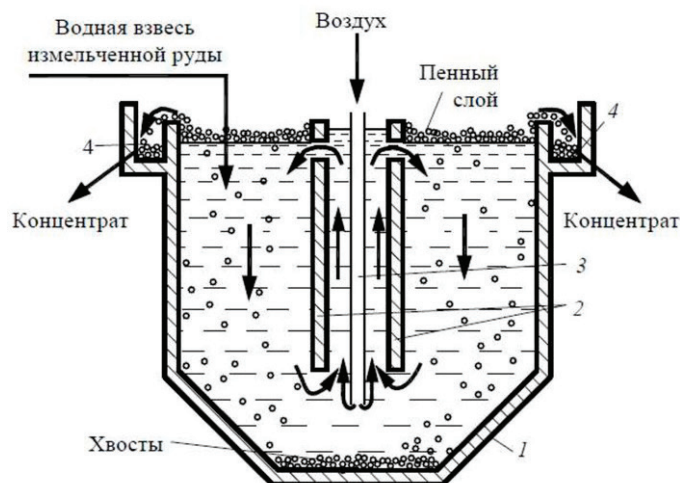


Рис. 2. Отсадочная машина: 1 — привод; 2 — решето; 3 — корпус



Флотационная машина с воздушным перемешиванием. 1-резервуар, 2-перегородки, 3-воздушная трубка.

34

Рис. 3 Флотомашинa с воздушным перемешиванием

- стабилизация и оптимизация производственного процесса;
- минимизация потерь ценных компонентов и расхода реагентов;
- возможность прогнозирования качества получаемого концентрата;
- снижение влияния человеческого фактора (усталость, недостаток опыта у флотатора).

Таким образом, внедрение данных систем позволяет не только предоставлять рекомендации, но и анализировать данные для повышения эффективности производства.

На сегодняшний день сформировалась техническая база обогащения, включающая весь спектр процессов: от дробления и измельчения до гравитационных, маг-

нитных и флотационных методов разделения. Эволюция прошла путь от интуитивной ручной разборки и примитивной промывки до научно обоснованного проектирования сложных механизированных фабрик. Гравитационные методы оставались основными для углей и руд крупного вкрапления. Магнитная и электрическая сепарация открыли возможности для разделения по физическим свойствам. Флотация совершила настоящую революцию, обеспечив рентабельную переработку бедных руд. Эти достижения, основанные на фундаментальных исследованиях и инженерном творчестве, заложили прочный фундамент для современных высокоэффективных технологий, которые и сегодня определяют перспективы развития отрасли.

#### Литература:

1. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов. — 2-е изд., стер.: В 2т — М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2008. — Т.1. Обогащительные процессы. — 417с.: ил. (Обогащение полезных ископаемых) автор Авдохин В. М.
2. Обогащение полезных ископаемых: учебное пособие / сост. Пузыревская И. А. — Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014.- 96 с.
3. <https://www.vnedra.ru/tag/obogashhenie-poleznyh-iskopaemyh/>
4. <https://dprom.online/processing/tsifrovoj-sovetchik-flotatsii/>
5. <https://ntcbakor.ru/press-center/element/obogashchenie-poleznykh-iskopaemykh/>
6. <https://dprom.kz/pererabotka/mirovye-trendy-v-obogashhenii-i-pererabotke-tyordyh-poleznyh-iskopaemyh/>



## Влияние технологии погружения на продолжительность вмораживания свай в условиях вечной мерзлоты

Галицкая Елизавета Сергеевна, студент магистратуры  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*В статье приведён анализ четырёх основных способов погружения свай в многолетнемерзлые грунты: забивного, забивного в лидерные скважины, буроопускного (с заливкой грунтовым раствором) и погружения в оттаянные грунты. На основе обобщения производственных данных [6] выявлены зависимости сроков вмерзания от температуры грунта и сезона выполнения работ. Установлено, что забивной способ обеспечивает практически мгновенное вмерзание (менее 2 суток), тогда как опускной способ в высокотемпературных грунтах ( $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) требует до 50 суток. Даны рекомендации по выбору технологии в зависимости от мерзлотно-грунтовых условий.*

**Ключевые слова:** вечномерзлые грунты, свайные фундаменты, технология погружения, сроки вмораживания, бурозабивной способ, буроопускной способ, парооттаивание.

### Введение

Выбор технологии погружения свай в вечномерзлые грунты определяет не только стоимость и трудоёмкость работ, но и продолжительность набора несущей способности фундамента. Процесс вмерзания сваи в грунт может занимать от нескольких часов до нескольких месяцев, что критически важно для темпов строительства в арктической зоне России [1, 2].

В соответствии с принципами использования вечномерзлых грунтов по первому принципу (сохранение грунтов в мерзлом состоянии) [1], технология погружения должна минимизировать тепловое воздействие на массив. В настоящей работе выполнен сравнительный анализ четырёх основных способов погружения: забивка (ударный метод), забивка в лидерные скважины (бурозабивной способ), погружение в пробуренные скважины с заливкой грунтовым раствором (буроопускной способ) и погружение в предварительно оттаянные грунты (опускной способ с паровым прогревом) [2, 3].

### Характеристика способов погружения

1. Забивка свай (ударный метод). Применяется в пластично-мерзлых грунтах с использованием копровых установок с дизельными или гидравлическими молотами. Свая погружается за счёт динамической энергии удара, при этом происходит частичное оттаивание грунта в зоне контакта за счёт тепла трения. Критическим ограничением является возможность забивки в твёрдомерзлые и скальные грунты, а также высокий уровень вибрационного воздействия на окружающую застройку.

2. Забивка в лидерные скважины (бурозабивной способ). Предварительно бурится скважина диаметром на 5–10 см меньше размера сваи. Это снижает сопротивление грунта при забивке и уменьшает динамические нагрузки. Метод рекомендован для грунтов с температурой выше  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [3]. Обеспечивает высокую точность позиционирования свай.

3. Погружение в пробуренные скважины (буроопускной способ). Скважина бурится диаметром, превы-

шающим сечение сваи. Затем скважина на 1/3 заполняется грунтовым раствором (шламом), после чего погружается свая. Раствор вытесняется в кольцевой зазор и при замерзании обеспечивает сцепление. Способ применим в любых мерзлых грунтах, но требует искусственного вмораживания при высоких температурах грунта [4].

4. Погружение в оттаянные грунты (опускной способ с паровым прогревом). Зона установки сваи предварительно размораживается перегретым паром ( $120\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) через паровые иглы. После оттаивания свая погружается с использованием вибропогружателя или крана. Метод эффективен в твёрдомерзлых глинистых и пылеватых грунтах, но требует последующего искусственного вмораживания, так как грунт вокруг сваи остаётся талым.

### Сравнительный анализ сроков вмораживания

В таблице 1 представлены обобщённые данные о продолжительности вмерзания свай в зависимости от способа погружения, температуры грунта и сезона работ, составленные на основе производственных наблюдений [6].

Анализ данных показывает:

1. Бурозабивной способ с забивкой молотами обеспечивает практически мгновенное вмерзание (менее 1–2 суток) при всех температурах грунта ниже  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это объясняется плотным контактом сваи с мерзлым грунтом и минимальным нарушением температурного режима.

2. Буроопускной способ даёт сроки вмерзания от 5 суток (вращательное бурение, грунт  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зима) до 120 суток (термомеханическое бурение, грунт  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лето). Вращательное бурение предпочтительнее термомеханического, так как создаёт более чистые стенки скважины и не переувлажняет грунт.

3. Опускной способ с парооттаиванием — самый длительный: от 50 до 140 суток. Это связано с необходимостью полного замерзания оттаянной зоны. При температуре грунта  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше данный способ не рекомендуется без искусственного вмораживания [3].

4. Сезонность работ оказывает влияние: в зимне-весенний период сроки вмерзания на 15–30 % меньше, чем

Таблица 1. Сроки вмерзания свай, установленных различными способами [6]

Способ погружения свай	Продолжительность вмерзания свай, сутки							
	Лето-осень				Зима-весна			
	Температура мерзлого грунта							
	-0,5	-1,0	-1,5	-3,0	-0,5	-1,0	-1,5	-3,0
В пробуренные скважины с заливкой их грунтовым раствором (буроопускной способ) при бурении:								
Термомеханическом	-	-	120	60	-	-	100	40
Вращательном	45	25	12	5	30	15	8	4
Паровым вибролидером	50	30	15	6	30	15	10	4
В скважины, оттаянные паровыми иглами (опускной способ)	-	-	140	70	-	-	120	50
В лидерные скважины (бурозабивной способ):								
Молотами	<2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Вибропогружателями	20	10	7	3	15	8	5	3
Забивной способ:								
Молотами	<2	<1	-	-	<1	<1	-	-
Вибропогружателями	40	20	-	-	30	20	-	-

в летне-осенний, за счёт более низкой температуры грунта и воздуха.

#### Рекомендации по выбору технологии

На основе проведённого анализа предложены следующие рекомендации:

1. При температуре грунта  $-3,0$  °C и ниже эффективны любые способы, однако предпочтительны бурозабивной (сроки  $<1$  суток) или вращательное бурение с заливкой раствором (5–8 суток).
2. В интервале температур  $-1,5...-2,9$  °C следует использовать бурозабивной способ молотами (вмерзание  $<1$  суток) или вращательное бурение (12–15 суток). Термомеханическое бурение (120 суток) и парооттаивание (140 суток) экономически нецелесообразны.
3. При температуре  $-0,5...-1,4$  °C забивной и буро-забивной способы остаются предпочтительными, но для вращательного бурения сроки возрастают до 30–45 суток. В таких условиях рекомендуется искусственное вмораживание [4].

4. Для твёрдомерзлых глинистых и пылеватых грунтов с включениями щебня допустимо только буроопускное бурение или парооттаивание с последующим искусственным вмораживанием.

#### Заключение

1. Наименьшие сроки вмерзания (менее 2 суток) обеспечивает забивка свай молотами в лидерные скважины. Этот способ рекомендуется как основной для строительства в суровых климатических условиях.
2. Буроопускной способ с вращательным бурением даёт приемлемые сроки (5–45 суток) и может применяться при отсутствии возможности забивки (например, вблизи существующих зданий).
3. Термомеханическое бурение и парооттаивание следует применять только в особо сложных грунтах, обязательно с последующим искусственным вмораживанием.
4. Полученные зависимости могут быть использованы для оптимизации календарных планов строительства в арктической зоне.

#### Литература:

1. Кузнецов Н. К., Филиппов Г. С. Строительство промышленных сооружений. — М.: Издательство литературы по строительству, 1972. — 189 с.
2. Березовский Б. И., Либерман И. А., Неклюдов В. С., Таргулян Ю. О. Справочник мастера-строителя для работ в Северной строительной-климатической зоне. — Л.: Стройиздат, 1986. — 328 с.
3. Березовский Б. И., Васильковский А. П. Проектирование и строительство зданий в условиях сурового климата и вечномёрзлых грунтов. — Л.: Стройиздат, 1977. — 232 с.
4. Спиридонов В. В., Цуриков А. С., Краснощек Б. В., Чернюк В. П. Руководство по технологии и методике расчета продолжительности вмораживания свай в вечномёрзлые грунты. — М.: ВНИИСТ, 1976. — 93 с.
5. Акимов Л. Д., Аммосов Н. Г., Бадьин Г. М. и др. Технология строительного производства в зимних условиях. — Л.: Стройиздат, 1984. — 259 с.
6. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88. — 123 с.

## Разработка гиростабилизированной платформы и исследование алгоритмов цифровой обработки сигналов инерциальных датчиков

Денисенко Кирилл Дмитриевич, студент магистратуры;

Смирнов Артем Анатольевич, кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

*В работе рассмотрена разработка трехосной гиростабилизированной платформы, предназначенной для размещения приборного оборудования на маломерном судне. Изготовлен физический макет платформы на основе карданного подвеса, инерциального измерительного модуля BMX055, сервоприводов и магнитных энкодеров. При эксплуатации на воде система подвергается воздействию качки, вибраций двигателя, ударных воздействий волн и поступательных ускорений. До проведения натурных испытаний выполнен предварительный выбор алгоритма обработки измерений средствами имитационного моделирования в MATLAB. Исследованы интегрирование сигнала гироскопа, комплементарный фильтр, фильтр Махони и расширенный фильтр Калмана.*

**Ключевые слова:** гиростабилизированная платформа, карданный подвес, инерциальный измерительный модуль, IMU, AHRS, гироскоп, акселерометр, магнитометр, комплементарный фильтр, расширенный фильтр Калмана.

### 1. Введение

Гиростабилизированные платформы применяются в системах наблюдения, навигации, видеосъемки, робототехнике и приборных комплексах подвижных объектов. Основная задача платформы заключается в поддержании требуемой ориентации полезной нагрузки при наличии угловых перемещений основания и внешних возмущающих воздействий.

В общем случае задача стабилизации заключается в определении параметров углового положения платформы и формировании управляющих сигналов, обеспечивающих ее требуемое положение в выбранной системе координат [1, с. 3].

К типичным источникам возмущений относятся механические вибрации, неуравновешенность элементов конструкции, люфты, трение в осях подвеса, изменение момента инерции полезной нагрузки и колебания основания. Для судовой платформы наиболее существенными внешними воздействиями являются качка, вибрации двигательной установки, ветровая нагрузка и изменение параметров системы при установке дополнительного оборудования [3, с. 152].

Для компенсации данных факторов используется замкнутая система управления, включающая датчики ориентации, вычислительное устройство и электромеханические приводы.

В современных малогабаритных системах ориентация часто определяется с использованием инерциального измерительного модуля, объединяющего трехосный акселерометр, трехосный гироскоп и трехосный магнитометр. Однако, каждый чувствительный элемент имеет ограничения. Акселерометр чувствителен к линейным ускорениям и вибрациям. Интегрирование сигнала гироскопа приводит к накоплению ошибки. Магнитометр подвержен влиянию локальных магнитных полей электродвигателей и металлических элементов конструкции.

Поэтому актуальной задачей является исследование алгоритмов комплексирования измерительной информации и определение метода, обеспечивающего приемлемое соотношение точности, быстродействия и вычислительной сложности.

Развитие вычислительной техники существенно расширило возможности использования математических моделей чувствительных элементов и их погрешностей для повышения точности вырабатываемой информации. В современных системах ориентации вычислительное устройство используется не только для обработки измерений, но и для фильтрации сигналов датчиков [2, с. 4].

Цель работы — разработка трехосной гиростабилизированной платформы и сравнительная оценка алгоритмов цифровой обработки данных IMU. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать механическую конструкцию трехосного карданного подвеса;
- сформировать структуру электронной системы управления;
- определить математическую модель измерений и критерии качества;
- реализовать несколько алгоритмов оценки пространственной ориентации;
- сравнить алгоритмы при различных режимах движения;
- определить рациональный алгоритм для дальнейшего использования в контуре стабилизации.

### 2. Конструкция гиростабилизированной платформы

#### 2.1. Механическая часть

Разработанная платформа представляет собой трехосный карданный подвес. Применение трехосного подвеса обусловлено тем, что качка судна включает бортовую качку, килевую качку и рыскание. Для предотвращения эффекта

складывания рамок оси подвеса должны быть взаимно перпендикулярны [3, с. 152]. Конструкция включает внешнюю, промежуточную и внутреннюю рамы. Оси вращения рам расположены взаимно перпендикулярно. Внешняя ось обеспечивает вращение по углу рыскания  $\psi$ , промежуточная ось — по углу тангажа  $\theta$ , внутренняя ось — по углу крена  $\varphi$ . Элементы платформы напечатаны на 3D-принтере из PETG пластика с заполнением 90 %. На рисунке 1 показана 3D-модель платформы, размеры которой составляют 30 x 30 x 15 см.

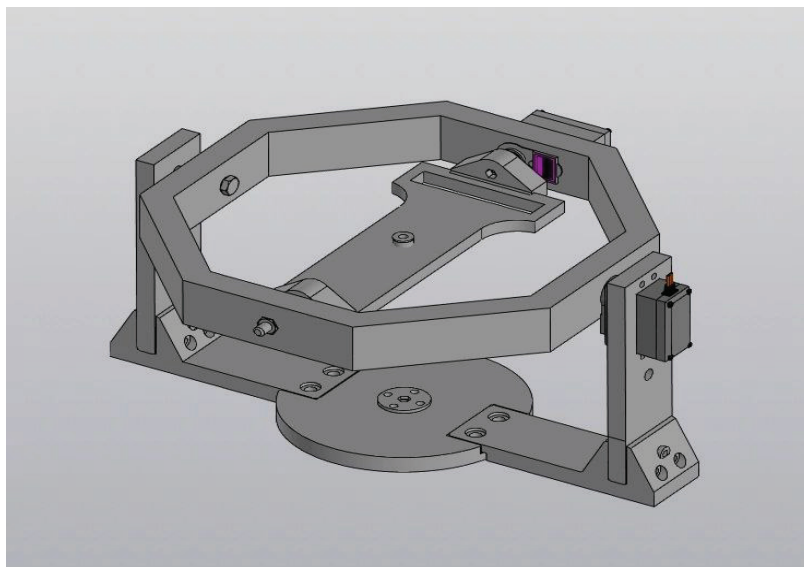


Рис. 1. Модель гиросtabilизированной платформы

На внутренней раме размещается полезная нагрузка и инерциальный измерительный модуль IMU BMX055. На каждой оси устанавливаются:

- электромеханический привод;
- датчик углового положения;
- подшипниковые узлы;
- элементы механического крепления;
- соединительные проводники.

На рисунке 2 представлена фотография разрабатываемой и исследуемой гиросtabilизированной платформы.

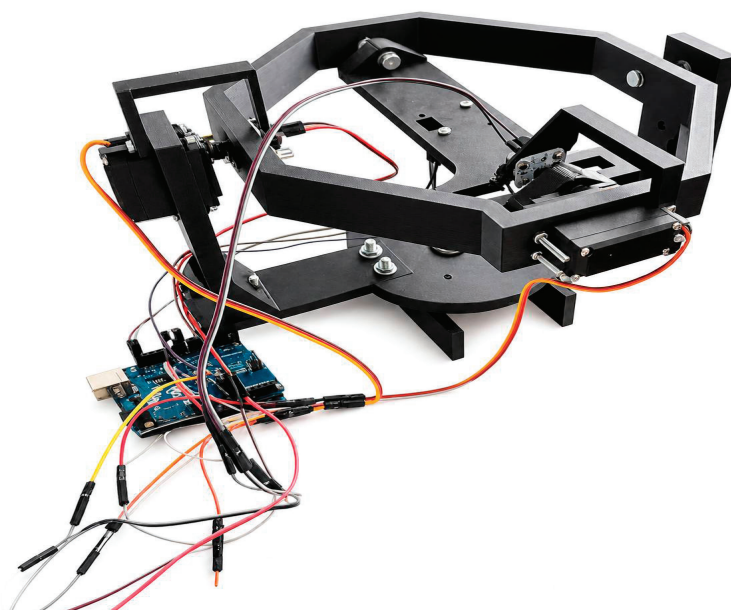


Рис. 2. Исследуемая гиросtabilизированная платформа



В состав электронной системы платформы входят:

- микроконтроллер управления Atmel MEGA 328P;
- модуль IMU BMX055 с девятью степенями свободы;
- трехосный акселерометр;
- трехосный гироскоп;
- трехосный магнитометр;
- датчик угла поворота (магнитный энкодер) AS5600;
- сервопривод MG996R;
- драйверы электродвигателей.

## 2.2. Имитационная модель

Имитационная модель реализована в среде MATLAB. Предварительное имитационное моделирование позволяет воспроизводимо исследовать влияние внешних воздействий до проведения натурных испытаний. В частности, при моделировании судовых платформ качка может быть задана как гармоническое воздействие с определенной амплитудой и частотой [3, с. 153]. Движение платформы задается комбинацией гармонических составляющих по углам крена, тангажа и рыскания. Такой режим используется как приближенное описание качки маломерного судна. Для расчета формируются виртуальные сигналы гироскопа, акселерометра и магнитометра.

Сигнал гироскопа учитывает истинную угловую скорость, смещение нуля и шум. Сигнал акселерометра включает проекцию ускорения свободного падения, поступательное ускорение, вибрационную составляющую и шум. Сигнал магнитометра учитывает магнитное поле Земли, локальные помехи и шум. Для сравнения алгоритмов используется среднеквадратическая ошибка определения угла.

Использованная структура имитационной модели соответствует общепринятому описанию MEMS-IMU: измерение гироскопа включает истинную угловую скорость, аддитивный шум и медленно изменяющееся смещение; акселерометр воспринимает одновременно гравитационную и динамическую составляющие ускорения; измерения магнитометра могут искажаться локальными магнитными полями [6, с. 1205].

## 3. Исследуемые алгоритмы

В работе рассмотрены алгоритмы, различающиеся вычислительной сложностью и устойчивостью к внешним воздействиям.

Интегрирование гироскопа используется как базовый вариант. Алгоритм обладает хорошим быстродействием, но сопровождается накоплением ошибки из-за смещения нуля гироскопа. Интегрирование погрешностей измерения гироскопа приводит к накоплению ошибки рассчитанной ориентации, поэтому гироскоп не может использоваться как единственный источник абсолютной оценки углового положения [5, с. 3].

Комплементарный фильтр объединяет быстрый канал гироскопа и медленную коррекцию по акселерометру и магнитометру. Алгоритм имеет малую вычислительную сложность, но требует настройки коэффициента фильтрации.

Фильтр Махони представляет собой нелинейный комплементарный наблюдатель с кватернионным представлением ориентации. Алгоритм позволяет выполнять коррекцию по опорным векторам и оценивать медленно изменяющееся смещение гироскопа.

Расширенный фильтр Калмана использует нелинейную модель состояния и статистические характеристики шумов. Алгоритм обеспечивает высокую точность, но требует настройки ковариационных матриц и более производительного вычислительного устройства.

В адаптивном расширенном фильтре Калмана ковариационная матрица измерительных шумов может корректироваться в процессе работы для уменьшения влияния движения объекта и временных магнитных помех [4, с. 1346–1347].

## 4. Результаты моделирования

### 4.1. Базовый сценарий качки

На рисунке 3 представлены временные зависимости истинных и оцененных углов ориентации при базовом колебательном движении. Интегрирование гироскопа обеспечивает плавный сигнал, но постепенно отклоняется от эталонного значения. Комплементарный фильтр, фильтр Махони и расширенный фильтр Калмана устойчиво воспроизводят движение платформы.

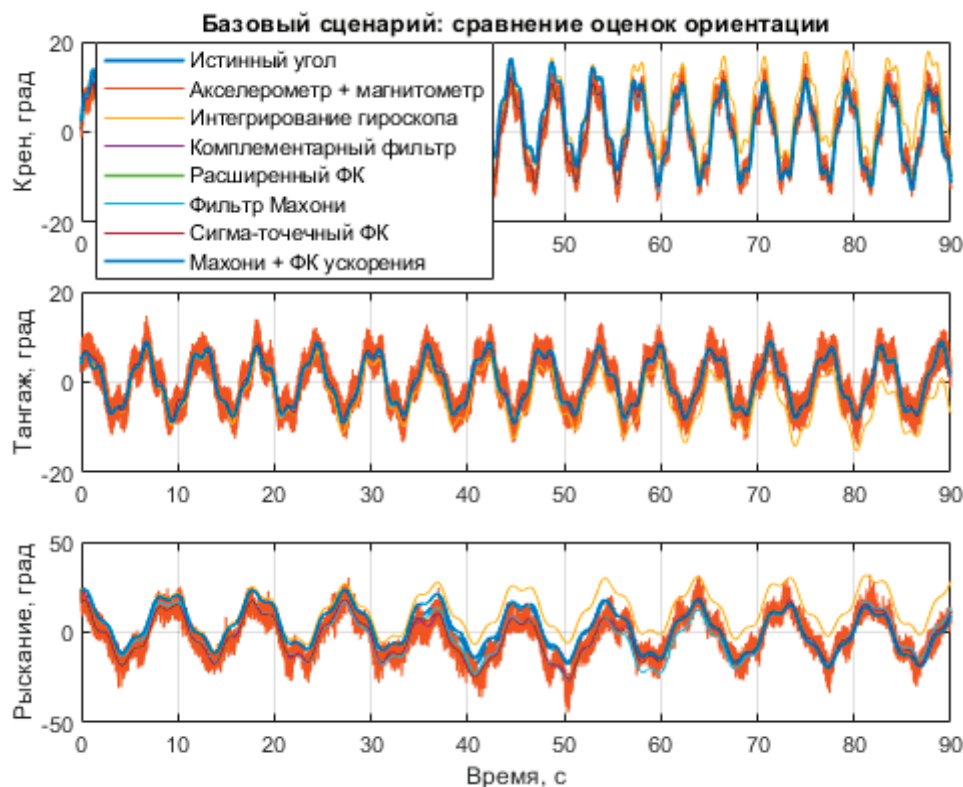


Рис. 3. Сравнение оценок ориентации при имитации качки

На рисунке 4 показана среднеквадратическая ошибка алгоритмов. Комплементарный фильтр и расширенный фильтр Калмана обеспечивают минимальную ошибку. Фильтр Махони демонстрирует сопоставимый результат при меньшей вычислительной сложности по сравнению с расширенным фильтром Калмана.

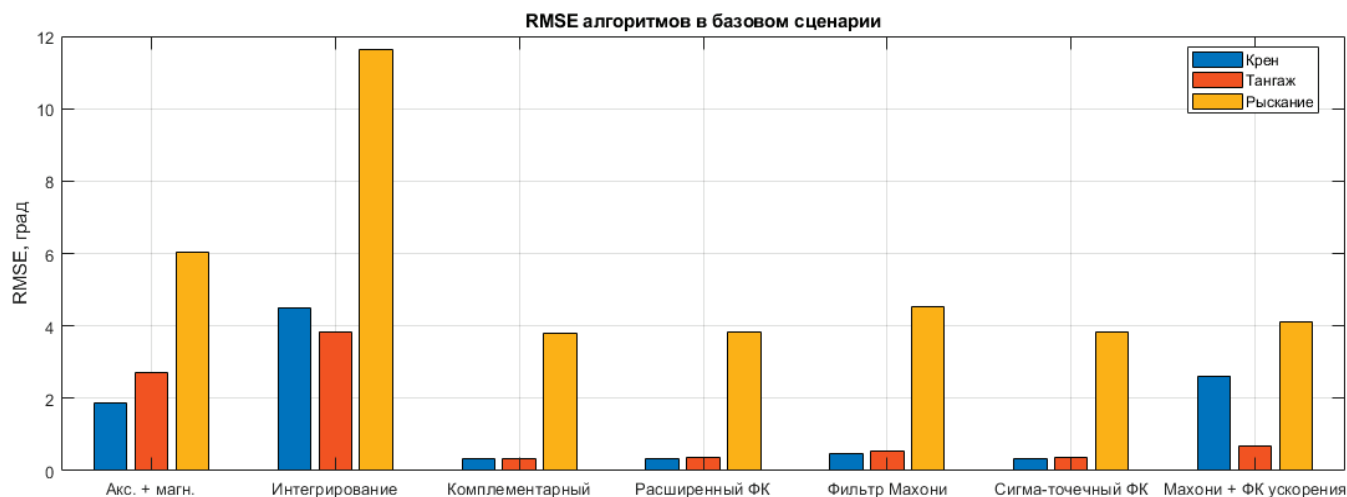


Рис. 4. Среднеквадратическая ошибка алгоритмов в базовом сценарии

#### 4.2. Влияние вибраций

На рисунке 5 показана зависимость ошибки крена и тангажа от амплитуды вибраций основания. Такие воздействия характерны для работы двигателя и передачи колебаний через корпус маломерного судна.

При увеличении вибраций непосредственная оценка по акселерометру заметно ухудшается. Комплементарный фильтр, фильтр Махони и расширенный фильтр Калмана сохраняют работоспособность. Для практической реализации важно снижать доверие к акселерометру при значительном отклонении модуля измеряемого ускорения от  $g$ . Подобный

подход применяется в адаптивных алгоритмах ориентации: при существенном отклонении модуля ускорения от  $g$  измерения акселерометра получают меньший вес [4, с. 1347].

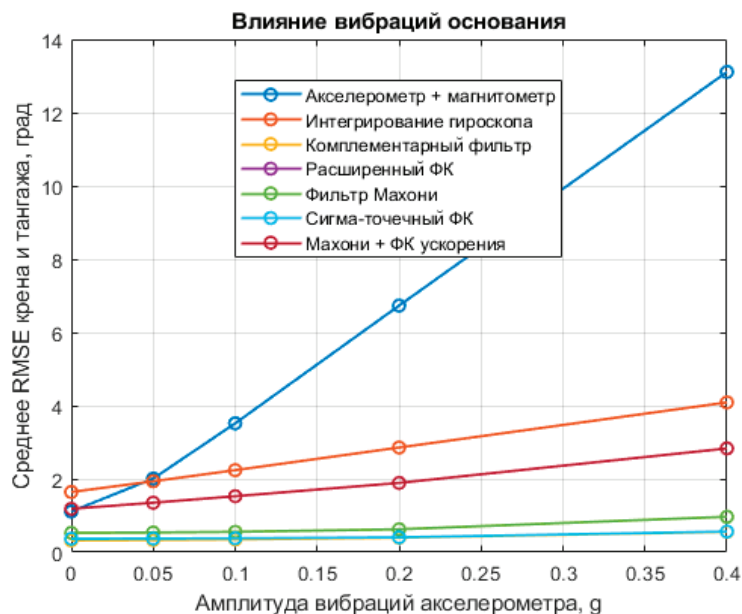


Рис. 5. Влияние вибрации на точность оценки ориентации

#### 4.3. Влияние поступательных ускорений

На рисунке 6 показано влияние поступательных ускорений, возникающих при разгоне судна, торможении и ударных воздействиях волн.

При движении судна акселерометр воспринимает одновременно проекцию ускорения свободного падения и динамическую составляющую. Поэтому при увеличении поступательных ускорений точность определения наклона уменьшается [4, с. 1346].

С увеличением ускорения точность алгоритмов, использующих акселерометр, постепенно уменьшается. Фильтр Махони сохраняет приемлемую устойчивость и может использоваться как базовый алгоритм натурной версии платформы.

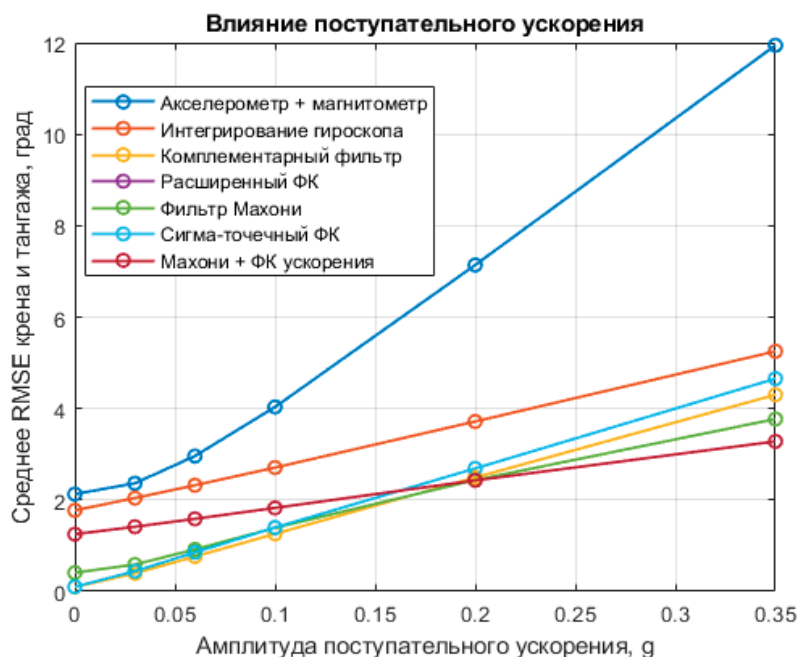


Рис. 6. Влияние поступательного ускорения на точность оценки крена и тангажа

Дополнительно исследован гибридный алгоритм, в котором фильтр Махони используется совместно с предварительной Калман-оценкой динамической составляющей ускорения. В отличие от последовательного применения двух полноценных алгоритмов ориентации, фильтр Калмана в данной схеме применяется только для оценки возмущающей составляющей сигнала акселерометра. После компенсации динамического ускорения скорректированные данные передаются в фильтр Махони.

Результаты моделирования показывают, что при слабых поступательных ускорениях применение гибридного алгоритма не дает существенного преимущества по сравнению с обычным фильтром Махони. Однако при увеличении амплитуды ускорения его эффективность возрастает. При амплитуде ускорения свыше 0,2 g гибридный алгоритм обеспечивает наименьшую среднеквадратическую ошибку среди рассмотренных методов. Это позволяет рассматривать его как перспективный вариант для эксплуатации платформы в условиях выраженных волновых воздействий.

#### 4.4. Влияние смещения нуля гироскопа

На рисунке 7 показано изменение ошибки при увеличении смещения нуля гироскопа.

Ошибка непосредственного интегрирования угловой скорости быстро возрастает. Алгоритмы с внешней коррекцией значительно устойчивее к смещению нуля. Полученный результат подтверждает необходимость использования комплексирования данных IMU BMX055 при длительной эксплуатации платформы.

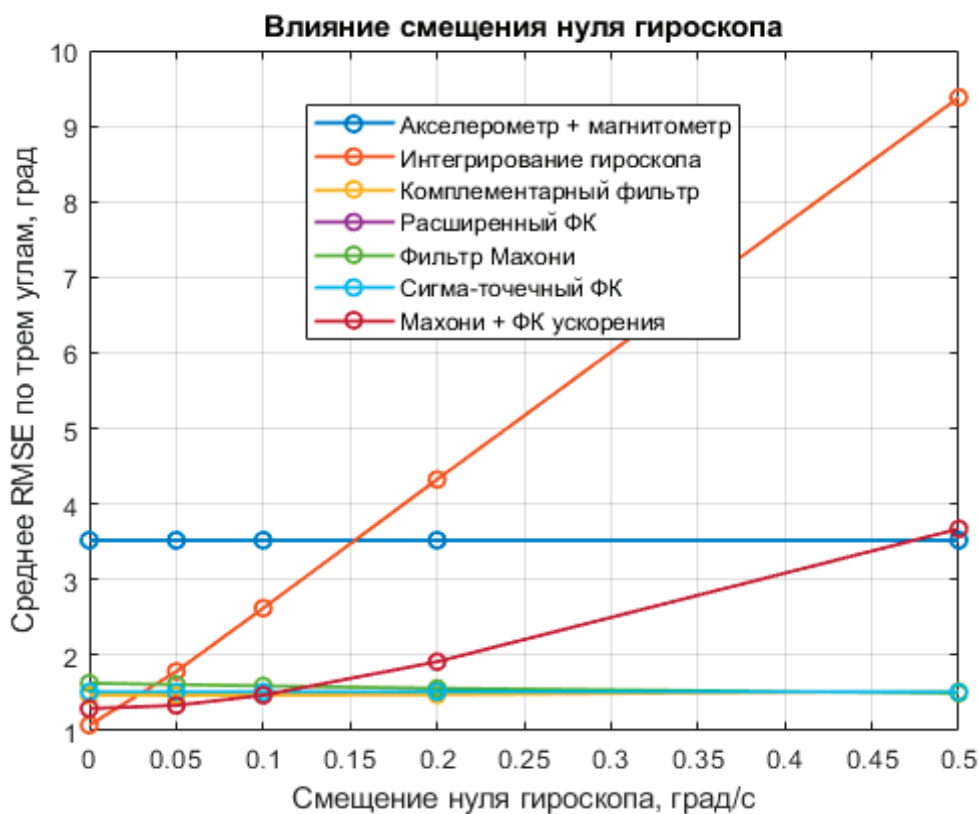


Рис. 7. Влияние смещения нуля гироскопа

## 5. Выбор алгоритма для натурной реализации

В работе рассмотрена разработка трехосной гиросtabilизированной платформы и выполнено сравнительное исследование алгоритмов цифровой обработки данных инерциальных датчиков.

Результаты моделирования показывают, что непосредственное интегрирование гироскопа не может использоваться как основной метод оценки ориентации при длительной эксплуатации платформы.

Комплементарный фильтр обеспечивает высокую точность и минимальную вычислительную нагрузку. Его можно использовать как базовый вариант при ограниченных ресурсах микроконтроллера.

Расширенный фильтр Калмана обеспечивает высокую точность и допускает адаптивную настройку доверия к датчикам. Однако его применение требует более сложной реализации и увеличивает вычислительную нагрузку.



Для первой версии натурной платформы в качестве базового алгоритма выбран фильтр Махони. Выбор фильтра Махони обусловлен возможностью его реализации на встраиваемом вычислительном устройстве и наличием механизма оценивания смещения гироскопа в процессе работы [6, с. 1203–1204]. Данный алгоритм сочетает умеренную вычислительную сложность, кватернионное описание пространственной ориентации и возможность компенсации медленно изменяющегося смещения гироскопа. Это делает его подходящим для реализации на микроконтроллере и проведения последующих испытаний на маломерном судне.

При этом результаты моделирования показывают, что в режимах значительных поступательных ускорений, характерных для движения судна на волнах, перспективным является применение гибридного алгоритма на основе фильтра Махони и предварительной оценки динамического ускорения. В системе планируется предусмотреть возможность включения дополнительной компенсации при обнаружении выраженных динамических воздействий.

Натурные испытания позволят уточнить параметры фильтра, оценить влияние реальной качки и вибраций двигателя, а также определить необходимость перехода к более сложным алгоритмам.

#### Литература:

1. Лысов А. Н., Лысова А. А. Теория гироскопических стабилизаторов: учебное пособие. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. — 117 с.
2. Серегин В. В. Прикладная теория и принципы построения гироскопических систем: учебное пособие. — Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2007. — 78 с.
3. Гогорев И. Р., Соколов П. В. Моделирование палубной адаптивной гиростабилизированной приборной платформы. — С. 152–154.
4. Sabatini A. M. Quaternion-based extended Kalman filter for determining orientation by inertial and magnetic sensing // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. — 2006. — Vol. 53. — No. 7. — P. 1346–1356.
5. Madgwick S. O. H. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. — University of Bristol, 2010.
6. Mahony R., Hamel T., Pflimlin J.-M. Nonlinear complementary filters on the special orthogonal group // IEEE Transactions on Automatic Control. — 2008. — Vol. 53. — No. 5. — P. 1203–1218.

## Исследование систем, используемых для распределения газа в электрофильтрах

Касымов Расул Русланович, студент магистратуры  
Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева (Казахстан)

*В статье рассматриваются современные системы распределения газа, применяемые в электрофильтрах промышленного назначения. Проведён анализ особенностей движения газовых потоков внутри электрофильтрационных установок, рассмотрены конструктивные решения, обеспечивающие равномерное распределение газа между секциями оборудования, а также исследованы существующие методы автоматического управления процессом газораспределения. Особое внимание уделено влиянию неравномерности потока на эффективность очистки газов и эксплуатационные характеристики электрофильтров. Выполнен обзор современных подходов к регулированию газораспределения, включая применение автоматизированных систем управления и многосвязных методов регулирования.*

**Ключевые слова:** электрофильтр, распределение газа, газовый поток, газоочистка, автоматическое управление, многосвязная система, эффективность очистки, гидродинамика потока.

#### Введение

Электрофильтры являются одним из наиболее распространённых видов оборудования для очистки промышленных газов от твёрдых частиц. Они широко используются на тепловых электростанциях, металлургических предприятиях, цементных заводах, предприятиях химической промышленности и других объектах, где образуются значительные объёмы запылённых газов. Высокая эффективность очистки, возможность работы при

больших расходах газа и сравнительно низкие эксплуатационные затраты обеспечили электрофильтрам широкое распространение в промышленности [1].

Несмотря на высокую эффективность процесса электростатического осаждения частиц, качество работы электрофильтра во многом зависит не только от электрических параметров установки, но и от характера движения газового потока внутри аппарата. Даже при правильно выбранных параметрах электрического поля неравномерное распределение газа между секциями электрофильтра спо-

собно привести к снижению степени очистки и увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [2].

Практика эксплуатации показывает, что одной из наиболее распространённых причин снижения эффективности электрофилтра является неравномерность распределения потока по площади активного сечения. В таких условиях часть газа проходит через аппарат с повышенной скоростью, а другая часть движется значительно медленнее. В результате время пребывания частиц в зоне действия электрического поля становится неодинаковым, что приводит к ухудшению условий осаждения и снижению общей эффективности газоочистки.

По этой причине системы распределения газа являются одним из важнейших элементов конструкции электрофилтра. Именно они обеспечивают формирование требуемой структуры потока перед поступлением газа в рабочую зону аппарата. Современные системы распределения включают различные направляющие устройства, газораспределительные решётки, выравнивающие экраны, диффузоры и элементы автоматического регулирования, позволяющие изменять параметры потока в процессе эксплуатации.

В последние годы особое внимание исследователей уделяется вопросам цифрового моделирования газовых потоков и внедрения автоматизированных систем управления распределением газа. Развитие вычислительной гидродинамики (CFD) позволило более детально исследовать процессы движения газа внутри электрофилтров и выявить влияние конструктивных элементов на формирование потока. Одновременно развитие систем автоматизации открыло возможность оперативного управления распределением газа в зависимости от текущих условий работы технологической установки.

Целью настоящей статьи является исследование существующих систем распределения газа в электрофилтрах, анализ их конструктивных особенностей, принципов работы и современных подходов к автоматическому регулированию газовых потоков.

### **Роль систем распределения газа в работе электрофилтра**

Работа электрофилтра основана на прохождении загрязнённого газа через зону действия электрического поля, создаваемого между коронирующими и осадительными электродами. Под воздействием электрического поля частицы пыли приобретают электрический заряд и начинают перемещаться к осадительным электродам, где происходит их накопление и последующее удаление.

Для эффективного протекания данного процесса необходимо обеспечить максимально равномерное распределение скорости газа по всему поперечному сечению аппарата. При возникновении локальных зон повышенной скорости частицы не успевают осесть на электродах и выносятся за пределы установки. В то же время наличие зон с пониженной скоростью приводит к возникновению

застойных областей и ухудшению использования рабочего объёма аппарата.

Исследования показывают, что отклонение локальной скорости потока от среднего значения более чем на 15–20 % уже может приводить к заметному снижению эффективности очистки. Поэтому система распределения газа должна обеспечивать максимально равномерное поле скоростей на входе в активную зону электрофилтра.

Наиболее простым способом формирования потока является применение газораспределительных решёток. Они представляют собой систему металлических пластин или профилей, расположенных на входе в электрофилтр. Проходя через такие элементы, поток перераспределяется по площади сечения аппарата и становится более равномерным [3].

Однако увеличение размеров современных электрофилтров привело к необходимости использования более сложных систем газораспределения. В крупных промышленных установках применяются многоступенчатые выравнивающие устройства, включающие направляющие лопатки, диффузоры и специальные экраны, обеспечивающие снижение турбулентности потока и выравнивание скоростного профиля.

### **Конструктивные решения систем распределения газа**

Конструкция системы распределения газа определяется производительностью электрофилтра, составом очищаемого газа и особенностями технологического процесса. Наиболее распространёнными элементами являются входные диффузоры, направляющие пластины, газораспределительные решётки и выравнивающие экраны.

Входные диффузоры используются для постепенного расширения потока и уменьшения его скорости перед поступлением в активную зону электрофилтра. Их применение позволяет снизить вероятность образования локальных скоростных струй и уменьшить неравномерность распределения газа.

Направляющие лопатки устанавливаются в местах изменения направления движения потока. Их задача заключается в предотвращении отрыва потока от стенок газоходов и уменьшении зон рециркуляции. Особенно важную роль данные элементы играют при наличии поворотов газового тракта перед входом в электрофилтр.

Дополнительное выравнивание потока обеспечивается газораспределительными решётками. Конструкция решёток подбирается таким образом, чтобы компенсировать локальные различия скоростей и сформировать равномерное поле потока по всей площади сечения аппарата [4].

Современные исследования показывают, что использование многоступенчатых систем распределения газа позволяет повысить эффективность электрофилтра на несколько процентов без изменения электрических параметров установки. Для крупных промышленных объектов даже такое улучшение является экономически значимым результатом.

## Заключение

Проведённое исследование показало, что системы распределения газа являются одним из ключевых элементов электрофилтрационных установок и оказывают непосредственное влияние на эффективность очистки промышленных газов. Равномерное распределение потока обеспечивает оптимальные условия работы электрического поля и способствует более полному осаждению частиц загрязнений.

Анализ существующих конструктивных решений показал, что современные системы распределения газа включают комплекс устройств, предназначенных для

формирования требуемой структуры потока. Наиболее эффективными являются многоступенчатые схемы, сочетающие диффузоры, направляющие элементы и газораспределительные решётки.

Перспективным направлением дальнейшего развития является внедрение автоматизированных систем управления распределением газа и использование методов математического моделирования для оптимизации режимов работы электрофильтров. Применение современных средств автоматизации позволяет повысить устойчивость работы оборудования, уменьшить влияние внешних возмущений и обеспечить более эффективную очистку промышленных выбросов.

## Литература:

1. Innovative Electrostatic Precipitator Solutions for Efficient Removal of Fine Particulate Matter: Enhancing Performance and Energy Efficiency / Sokolovskij Edgar, Kilikevičius Artūras, Chlebnikovas Aleksandras [и др.]. — Текст: непосредственный // Machines. — 2024. — № 12. — С. 761.
2. Marković, Z. J. Optimization of the flue gas-flow controlling devices of the electrostatic precipitator / Z. J. Marković, M. D. Erić, P. L. Stefanović. — Текст: непосредственный // Thermal Science. — 2023. — № 27. — С. 3591–3606.
3. Xuerao, He Numerical analyses of wire-plate electrohydrodynamic flows / He Xuerao, A. V. Pedro, Zhang Mengqi. — Текст: непосредственный // Journal of Fluid Mechanics. — 2023. — С. 966.
4. Ozler, G. Effect of drag force modeling on the flow of electrostatically charged particles / G. Ozler, M. Demircioglu, Grosshans H &. — Текст: непосредственный // Advanced Powder Technology. — 2023. — № 34.

## Классификация агродронов как робототехнических комплексов для выполнения сельскохозяйственных операций

Кленин Константин Викторович, студент магистратуры  
Воронежский государственный технический университет

*В статье рассмотрены агродроны — беспилотные летательные аппараты, применяемые в сельском хозяйстве. Агродрон представлен как робототехнический комплекс, объединяющий летательную платформу, систему автоматического управления и навесное технологическое оборудование. Проведена классификация агродронов по конструктивной схеме летательной платформы, по типу навесного оборудования и по уровню автономности. Выполнен анализ применимости различных схем для задачи точного внесения сухих удобрений; обоснован выбор мультироторной (вертолётной) схемы со специализированным шнековым модулем дозирования.*

**Ключевые слова:** агродрон, беспилотный летательный аппарат, точное земледелие, робототехнический комплекс, классификация, дозирование сыпучих материалов.

## Введение

Развитие беспилотных летательных аппаратов привело к их активному применению в сельском хозяйстве [1]. Беспилотные аппараты, предназначенные для выполнения сельскохозяйственных операций, получили название агродронов и стали одним из инструментов точного земледелия — современной концепции, при которой обработка посевов выполняется дифференцированно с учётом фактического состояния почвы и растений на каждом участке поля [5].

С точки зрения мехатроники и робототехники агродрон представляет собой не просто летательный аппарат, а робототехнический комплекс, в котором летательная платформа, система автоматического управления и навесное технологическое оборудование функционируют как единое целое [2]. Такой взгляд позволяет систематизировать существующее многообразие сельскохозяйственных беспилотных аппаратов и обоснованно подходить к выбору схемы агродрона под конкретную задачу.

Целью настоящей работы является классификация агродронов по существенным с точки зрения проекти-

рования признакам и анализ применимости различных схем для задачи точного внесения сухих минеральных удобрений.

### Агродрон как робототехнический комплекс

В составе агродрона как робототехнического комплекса выделяют три функционально различные подсистемы.

Летательная платформа обеспечивает удержание аппарата в воздухе и его перемещение в пространстве. Платформа включает в себя несущие элементы конструкции, двигатели и источник энергии — как правило, аккумуляторную батарею. Конструктивная схема платформы определяет лётные характеристики аппарата — грузоподъёмность, продолжительность полёта, маневренность.

Система автоматического управления выполняет функции стабилизации полёта, навигации, выдерживания заданной траектории и обеспечения связи с оператором. В состав системы входят: бортовой контролер, инерциальные датчики, приёмник спутниковой навигации, радиоканал связи. Уровень совершенства системы управления определяет степень автономности агродрона.

Навесное технологическое оборудование обеспечивает выполнение целевой сельскохозяйственной операции. К нему относятся баки для жидких препаратов и распылители, бункеры и дозаторы для сухих материалов, разбрасыватели, фото- и видеокамеры для мониторинга посевов. Состав и конструкция навесного оборудования определяются назначением агродрона.

Указанные подсистемы взаимосвязаны: характеристики летательной платформы накладывают ограничения на массу и габариты навесного оборудования, а требования технологической операции — на устойчивость и точность работы системы управления. Поэтому проектирование агродрона представляет собой важную задачу

согласования всех трёх подсистем под выбранную сельскохозяйственную задачу.

### Классификация по конструктивной схеме летательной платформы

По принципу создания подъёмной силы различают три основные конструктивные схемы летательной платформы агродрона [2].

Самолётная схема создаёт подъёмную силу за счёт набегающего потока воздуха. Аппараты этого типа отличаются большей продолжительностью и дальностью полёта, высокой скоростью движения, однако не способны зависать над участком и перемещаться с малой скоростью. Самолётные аппараты применяются преимущественно для мониторинга посевов и аэрофотосъёмки, но не подходят для точного дозированного внесения препаратов.

Вертолётная схема создаёт подъёмную силу за счёт одного несущего винта большого диаметра. Аппараты этой схемы способны зависать над участком и перемещаться с малой скоростью, обладают значительной грузоподъёмностью — до десятков килограммов [3]. Это делает вертолётную схему пригодной для внесения удобрений и средств защиты растений на больших площадях. Недостатками являются сложность конструкции несущего винта и системы управления.

Мультироторная схема создаёт подъёмную силу за счёт нескольких винтов меньшего диаметра. Маневрирование осуществляется изменением скорости вращения отдельных винтов, что обеспечивает простоту управления и устойчивость в полёте [2]. Мультироторные аппараты не требуют взлётной площадки и получили наибольшее распространение для точного внесения препаратов [4]. Ограничением схемы является меньшая по сравнению с самолётной продолжительность полёта.

Сравнительная характеристика конструктивных схем приведена в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика конструктивных схем летательной платформы

Характеристика	Самолётная	Вертолётная	Мультироторная
Способность к зависанию	нет	да	да
Продолжительность полёта	большая	средняя	малая
Грузоподъёмность	средняя	большая	средняя
Сложность управления	средняя	высокая	низкая
Применимость для точного внесения	низкая	высокая	высокая

### Классификация по типу навесного оборудования

По типу выполняемых сельскохозяйственных операций и соответствующему навесному оборудованию агродроны разделяют на несколько групп.

Агродроны для опрыскивания жидкими препаратами оборудуются баком, насосом и системой распылительных форсунок. Это наиболее распространённый

тип агродронов, применяемый для внесения средств защиты растений, жидких удобрений и регуляторов роста [4]. Точность дозирования достигается регулированием давления в системе распыления и скорости движения аппарата.

Агродроны для внесения сухих и гранулированных удобрений оборудуются бункером и специализированным дозирующим устройством — шнековым, бара-



банным или вибрационным дозатором. Внесение сухих материалов с борта беспилотника является более сложной технологической задачей по сравнению с распылением жидкостей: точность дозирования сильно зависит от свойств материала, а конструкция дозатора должна обеспечивать малую массу и стойкость к агрессивным средам. Этот тип агродронов наименее развит по сравнению с аппаратами для жидких препаратов. Стоит отметить, что совершенствование бортовых дозаторов сухих материалов является актуальной инженерной задачей.

Агродроны для мониторинга посевов оборудуются фото и видеокамерами, мультиспектральными датчиками. Они не выполняют непосредственной обработки сельскохозяйственных полей, но обеспечивают данные для построения карт неоднородности посевов, на основе которых выполняется дифференцированное внесение препаратов другими агродронами.

Часто на одной летательной платформе может устанавливаться сменное навесное оборудование разных типов, что повышает универсальность комплекса.

### Классификация по уровню автономности

С точки зрения робототехники существенным признаком классификации является уровень автономности агродрона — то есть степень, в которой аппарат способен выполнять полётное задание без участия оператора.

Дистанционно управляемые агродроны выполняют все манёвры по командам оператора с пульта или наземной станции. Этот режим применяется при обучении персонала и при выполнении нестандартных операций.

Полуавтономные агродроны выполняют полёт по предварительно загруженному маршруту с использованием системы спутниковой навигации. Оператор задаёт маршрут и контролирует выполнение задания. Этот режим является основным для современных серийных агродронов.

Автономные агродроны способны самостоятельно планировать маршрут на основе карты поля, корректировать его по показаниям бортовых датчиков и принимать решения о выполнении операции — например, об открытии или закрытии дозатора в зависимости от участка. Развитие автономных функций является одним из основных направлений совершенствования агродронов и непосредственно связано с задачами робототехники и систем автоматического управления.

### Литература:

1. Шевченко, А. В. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 2. Беспилотные летательные аппараты и роботизированные фермы / А. В. Шевченко, Р. В. Мещеряков, А. Н. Мигачев // Проблемы управления. — 2019. — № 6.
2. Ковалев, Д. И. Обзорный анализ БПЛА сельскохозяйственного назначения / Д. И. Ковалев, К. Д. Астанакулов // Информатика. Экономика. Управление. — 2024. — Т. 3, № 4. — С. 0101–0127.
3. Марченко, Л. А. Технический облик беспилотной авиационной системы вертолётного типа для внесения пестицидов и удобрений / Л. А. Марченко, М. В. Мызин, И. В. Кузнецов, А. Ю. Спиридонов // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2021. — Т. 15, № 3. — С. 63–72.

### Применимость для задачи точного внесения сухих удобрений

На основе рассмотренных классификаций сформулируем требования к агродрону для поставленной задачи точного внесения сухих минеральных удобрений и определим оптимальный набор признаков.

Задача точного внесения требует способности аппарата зависать над участком и двигаться с малой скоростью для обеспечения равномерности обработки. Этому требованию соответствуют вертолётная и мультироторная схемы летательной платформы.

Внесение сухих материалов требует наличия специализированного бортового дозирующего устройства, обеспечивающего точное регулируемое дозирование при минимальной массе. Ограничение по массе бортового оборудования, накладываемое грузоподъёмностью аппарата, является основным конструктивным требованием к модулю дозирования.

Уровень автономности для типовой задачи внесения удобрений может быть полуавтономным — с заданием маршрута оператором и автоматическим выдерживанием траектории. При наличии карт точного земледелия целесообразен переход к автономному режиму с дифференцированным управлением дозатором по участкам поля.

Таким образом, оптимальной для поставленной задачи точного внесения сухих удобрений является мультироторная или вертолётная схема агродрона со специализированным бортовым модулем дозирования сухих материалов и полуавтономным (с перспективой автономного) режимом полёта.

### Заключение

Проведённая классификация показывает, что агродрон как робототехнический комплекс может быть охарактеризован по трём существенным с точки зрения проектирования признакам: конструктивной схеме летательной платформы, типу навесного технологического оборудования и уровню автономности. Для задачи точного внесения сухих минеральных удобрений оптимальной является мультироторная или вертолётная схема в сочетании со специализированным бортовым модулем дозирования.

Развитие бортовых дозаторов сухих материалов представляет актуальное направление совершенствования агродронов; разработка такого модуля дозирования рассматривается в дальнейших работах автора.

4. Смирнов, И. Г. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия / И. Г. Смирнов, Л. А. Марченко, Г. И. Личман, Т. В. Мочкова, А. Ю. Спиридонов // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2017. — № 3.
5. Трофимов, Н. В. Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Н. В. Трофимов, И. Ф. Яхин // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. — 2025. — № 2 (14). — С. 69–76.

## Проектирование портативного устройства гибридного позиционирования

Косенков Алексей Сергеевич, студент магистратуры

Арзамасский политехнический институт Нижегородского государственного политехнического университета имени Р. Е. Алексеева

*В статье рассмотрены вопросы проектирования портативного электронного устройства гибридного позиционирования, предназначенного для определения местоположения груза и передачи координат пользователю в режиме реального времени. Выполнен анализ существующих аналогов, обоснован выбор элементной базы, разработаны структурная и принципиальная электрическая схемы устройства, сочетающего GNSS-навигацию, сотовую связь и резервный радиоканал LoRa.*

**Ключевые слова:** гибридное позиционирование, GNSS, LoRa, мониторинг грузов, микроконтроллер, элементная база, электрическая схема.

Современные задачи логистики, мониторинга перемещения объектов и обеспечения сохранности ценных грузов требуют применения компактных, автономных и надёжных технических средств контроля, способных функционировать в сложных климатических и эксплуатационных условиях. Как правило, существующие решения ориентированы либо только на спутниковую навигацию, либо на передачу данных по одному каналу связи, что снижает устойчивость системы при отсутствии сигнала или возникновении помех. Многие устройства не обеспечивают достаточного уровня автономности, защищённости передаваемой информации и оперативного оповещения о несанкционированном доступе к объекту [1].

Актуальность работы обусловлена возрастающей потребностью в средствах контроля местоположения грузов в условиях удалённых территорий, нестабильного покрытия сетей связи и повышенных требований к безопасности информации. Использование гибридного подхода, объединяющего GNSS-навигацию, сотовую триангуляцию и передачу данных через мобильные сети, позво-

ляет повысить надёжность определения координат и доступность устройства для пользователя.

Целью работы является разработка портативного устройства гибридного позиционирования с функцией удалённого мониторинга и передачи данных, выполненного с использованием современных средств схемотехнического проектирования. Новизна предлагаемого решения заключается в совмещении в одном компактном корпусе функций спутникового позиционирования, удалённого программируемого включения, передачи координат через бота интернет-мессенджера, хранения данных при потере связи, контроля вскрытия и перемещения объекта, а также длительной автономной работы.

### Анализ существующих решений

Для обоснования необходимости разработки собственного устройства рассмотрены наиболее распространённые коммерческие аналоги: Teltonika FMB920, QuecLink GV350MG, Ruptela FM-Eco4+ и GalileoSky 7x. Сравнительные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение аналогов устройств позиционирования и мониторинга

Параметр	FMB920	GV350MG	FM-Eco4+	GalileoSky 7x
Стандарт связи	2G	4G LTE	2G	2G/3G/4G
LoRa-радиомодуль	Нет	Нет	Нет	Нет
Передача через мессенджер	Нет	Нет	Нет	Нет
Шифрование данных	Нет	Нет	Нет	Нет
Датчик вскрытия	Есть	Есть	Нет	Нет
Автономная работа	до 4 ч	Нет АКБ	< 1 ч	до 2 ч
Удал. вкл./выкл	Нет	Нет	Нет	Нет
Точность позиц., м	2,5	2,5	2,5	2,0

Анализ показывает, что ни одно из рассмотренных устройств не поддерживает передачу уведомлений через мессенджер, не оснащено резервным радиоканалом LoRa и не обеспечивает шифрования данных на уровне прошивки. Автономность аналогов ограничена 2–4 часами, что неприемлемо при мониторинге автономных грузов. Это обосновывает необходимость разработки устройства, объединяющего в едином корпусе функции GNSS-позиционирования, резервного радиоканала, передачи данных через бота, шифрования сообщений и длительной автономной работы [2].

### Структура разрабатываемого устройства

Устройство гибридного позиционирования включает блок навигации и определения координат, блок обработки данных, блок связи и передачи данных, а также блок кон-

троля состояния объекта. Основным методом позиционирования служит спутниковая навигация GNSS; при ослаблении сигнала дополнительно применяются Wi-Fi-позиционирование и сотовая триангуляция. Блок обработки реализован на микроконтроллере и выполняет сбор информации с датчиков, формирование пакетов и управление режимами энергосбережения.

Блок связи обеспечивает доставку координатной и телеметрической информации пользователю через GSM/LTE-модуль и бота интернет-мессенджера. При отсутствии покрытия сотовой сети активируется резервный радиоканал на основе технологии LoRa. Блок контроля состояния включает акселерометр, при срабатывании которого устройство незамедлительно формирует тревожное уведомление с передачей текущих координат. Структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

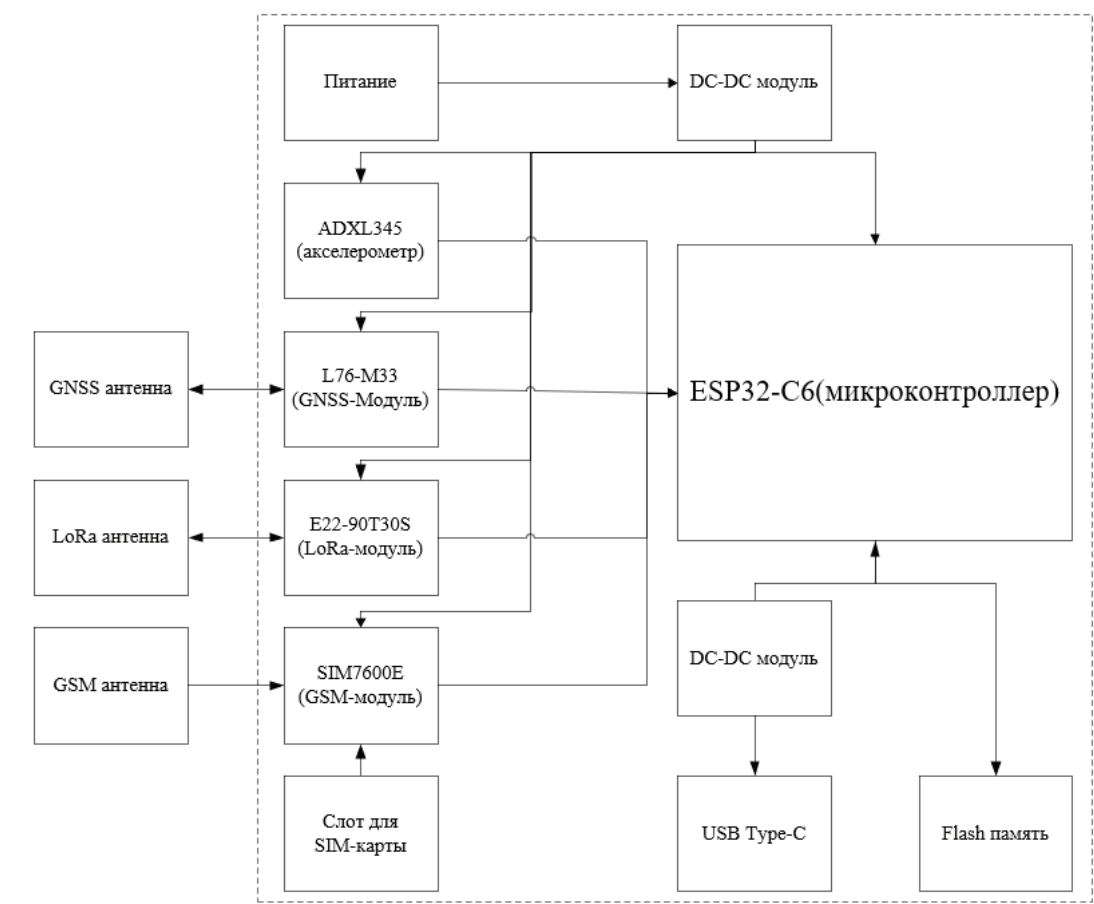


Рис. 1. Структурная схема устройства гибридного позиционирования

### Обоснование выбора элементной базы

Выбор компонентов выполнялся по критериям точности, энергопотребления, наличия беспроводных интерфейсов и удобства интеграции. В качестве центрального элемента выбран микроконтроллер ESP32-C6, обладающий наибольшим среди рассмотренных платформ объемом оперативной памяти (520 КБ), встроенными интерфейсами Wi-Fi и Bluetooth LE и низким током

в режиме сна. Навигационный модуль Quectel L76-M33 обеспечивает точность позиционирования 1,5 м CEP при поддержке систем GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou и токе потребления 18 мА в режиме трекинга [3].

Для основного канала связи выбран модуль SIM7600E (4G LTE Cat 4) с высокой чувствительностью GNSS-приёмника –159 дБм и широкой программной поддержкой [4]. Резервный радиоканал реализован на модуле LoRa E22–900T30S с выходной мощностью 30 дБм и дальностью

связи до 10 км [5]. Контроль перемещения возложен на трёхосевой акселерометр ADXL345 с диапазоном до  $\pm 16$  g и током ожидания 0,1 мкА [6]. Для сервисного подклю-

чения и заряда аккумулятора применён универсальный разъём USB Type-C. Итоговый состав элементной базы приведён в таблице 2.

Таблица 2. Выбранная элементная база устройства

Функциональный узел	Компонент	Ключевая характеристика
Микроконтроллер	ESP32-C6	RAM 512 КБ, Wi-Fi/BT/Thread
GNSS-навигация	Quectel L76-M33	Точность 1,5 м, 4 GNSS-системы
Сотовая связь	SIM7600E	4G LTE Cat 4, GNSS –159 дБм
Резервный радиоканал	E22-900T30S	LoRa, 30 дБм, до 10 км
Контроль перемещения	ADXL345	$\pm 16$ g, ток ожидания 0,1 мкА
Хранение данных	W25Q128VSIQ	NOR Flash 128 Мбит
Интерфейс / питание	USB Type-C	Заряд АКБ, программирование

Разработка принципиальной электрической схемы

Принципиальная электрическая схема разработана на основании технического задания и структурной схемы с учётом требований к функциональности, надёжности и помехоустойчивости.

Питание схемы осуществляется от литий-ионного аккумулятора через DC/DC-преобразователь R-78B3.3–1.0 и линейный стабилизатор AMS1117–3.3 с выходным на-

пряжением 3,3 В. Разъём USB Type-C обеспечивает заряд аккумулятора, программирование и сервисное подключение; резисторы 5,1 кОм в линиях CC1 и CC2 идентифицируют режим подключения по стандарту USB Power Delivery.

Центральным элементом схемы является микроконтроллер ESP32-C6, осуществляющий обработку навигационных данных, управление периферийными модулями, реализацию алгоритмов шифрования и управление ре-

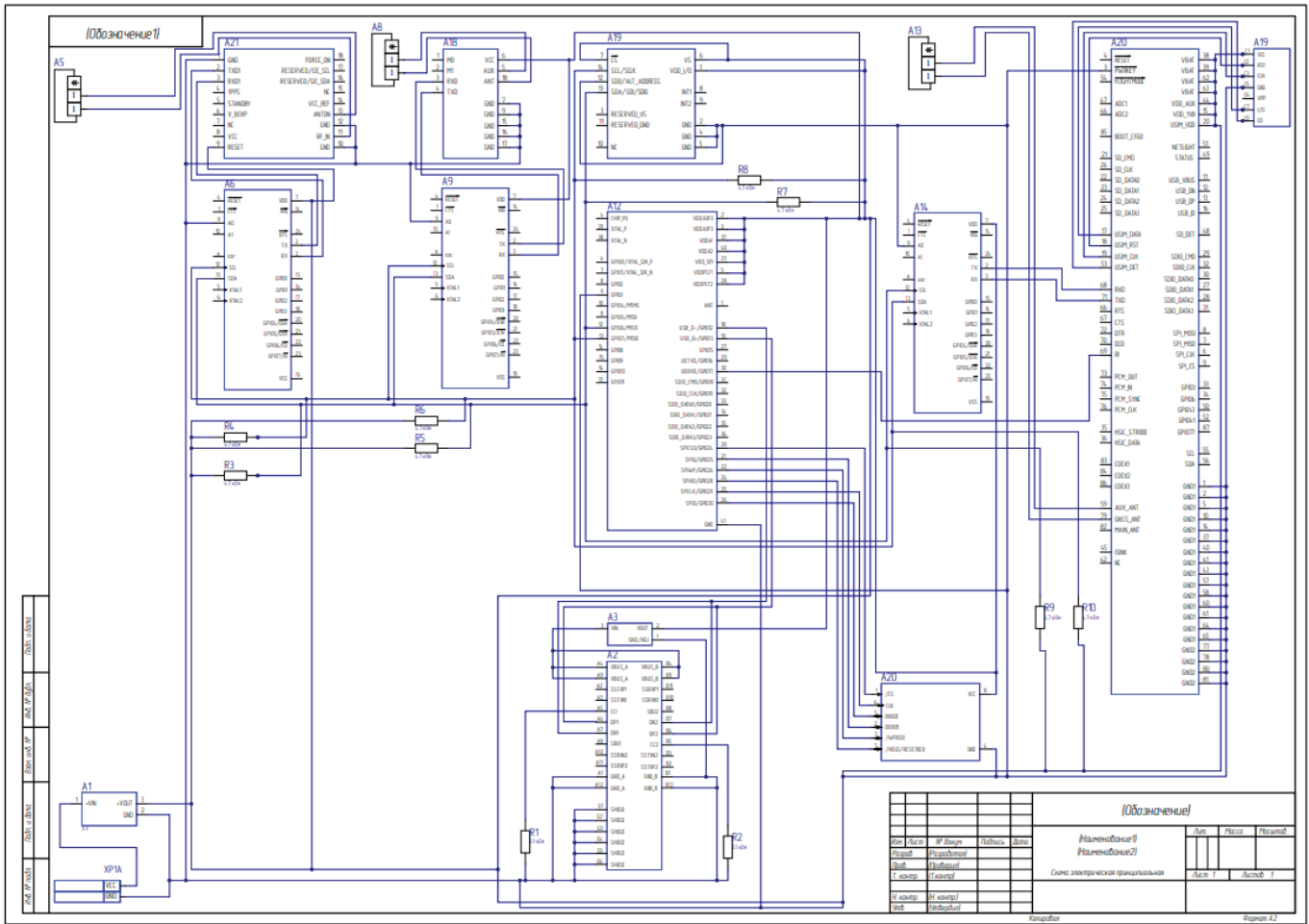


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства гибридного позиционирования



жимами энергосбережения. Для согласования сигналов между микроконтроллером и модулями с интерфейсом UART применены три микросхемы-моста SC16IS750IPW, преобразующие UART в SPI/I<sup>2</sup>C и снижающие нагрузку на выводы микроконтроллера. Акселерометр ADXL345 подключён по шине I<sup>2</sup>C с подтягивающими резисторами 4,7 кОм; антенные разъёмы SMA обеспечивают подключение внешних антенн GNSS-, GSM- и LoRa-модулей.

Передача координат пользователю выполняется через бота интернет-мессенджера, при этом алгоритм шифрования применяется ко всем исходящим сообщениям. При отсутствии покрытия сети GSM устройство автоматически переключается на радиоканал LoRa, а при пропадании связи данные буферизуются в Flash-памяти W25Q128JVSIG. Все выбранные компоненты соответствуют требованиям технического задания по диапазону рабочих температур (–40...+80 °C) и времени безотказной работы (5000 часов).

#### Литература:

1. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. — М.: Радио и связь, 2019. — 320 с.
2. Соловьёв Ю. А. Спутниковая навигация и её приложения. — М.: Эко-Трендз, 2018. — 326 с.
3. Quectel L76-M33 GNSS Module Hardware Design. — Quectel Wireless Solutions, 2021. — 48 p.
4. SIM7600 Series Hardware Design V1.06. — SIMCom Wireless Solutions, 2020. — 112 p.
5. E22-900T30S User Manual. — Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., 2020. — 24 p.
6. ADXL345 Digital Accelerometer Datasheet Rev. G. — Analog Devices, 2015. — 40 p.

#### Заключение

В результате работы спроектировано портативное устройство гибридного позиционирования, объединяющее в едином компактном корпусе функции GNSS-навигации с точностью 1,5 м, передачи данных по сети 4G LTE и резервному радиоканалу LoRa дальностью до 10 км, контроля перемещения и вскрытия груза, шифрования сообщений и длительной автономной работы. Разработанные структурная и принципиальная электрические схемы создают основу для последующего конструирования печатного узла и инженерного анализа устройства. По совокупности функциональных возможностей предложенное решение превосходит рассмотренные коммерческие аналоги и соответствует современным требованиям к интеллектуальным системам мониторинга грузов.

## Применение метода главных компонент для анализа влияния внешних факторов на надежность работы электродвигателей системы вентиляции герметичной оболочки здания атомного реактора

Локтионов Вадим Александрович, студент магистратуры  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

*В процессе эксплуатации Нововоронежской АЭС регулярно выходят из строя электродвигатели системы вентиляции здания реактора четвертой очереди этой АЭС — системы обеспечения безопасности внутреннего контейнента (KLA). Применяя математический анализ, а именно метод главных компонент, можно выявить корреляцию между параметрами внешней среды и неблагоприятными событиями.*

**Ключевые слова:** система безопасности АЭС, система вентиляции герметичной оболочки, короткое замыкание электродвигателей, метод главных компонент, PCA.

## Analysis of the Impact of External Factors on the Reliability of Electric Motors in a Pressurized Enclosure Ventilation System Using the Principal Component Analysis Method

*During operation, there is a regular failure of the electric motors of the reactor building ventilation system (KLA safety system) of the 4th stage of the NWPP. By applying mathematical analysis, namely the principal component method, it is possible to identify a correlation between environmental parameters and adverse events.*

**Keywords:** NVNPP safety system, airtight shell ventilation system, PCA — Principal Component Analysis.

Ключевым условием достижения успеха в развитии атомной энергетики не только в России, но и во всем

мире является обеспечение безопасной эксплуатации АЭС и недопущение изменения параметров, выходящих

за допустимые эксплуатационные пределы. В первую очередь залогом успешного строительства и использования АЭС является применение новейших технологий в системах безопасности.

Система безопасности АЭС — одна из важнейших составляющих ядерной энергетики, которая обеспечивает надежную защиту персонала, населения и окружающей среды от недопустимого радиационного воздействия. Понятие безопасности тесно связано с понятием угрозы аварии. Именно поэтому необходимо оперативно устранять малейшие проблемы, возникающие в системах безопасности.

Особенно это касается энергоблоков АЭС, построенных по проекту «АЭС-2006», флагманского продукта российской атомной энергетики [1]. В рамках опытной эксплуатации серийных блоков представляется рациональным обеспечивать безопасное производство электроэнергии и тем самым сводить вероятность отказов основных систем и систем безопасности к минимуму, стремясь к максимальному уровню надежности. Это будет способствовать повышению конкурентоспособности российской атомной энергетики на мировом рынке.

Обеспечение безопасности АЭС тесно связано с решением основных производственных и экономических задач и никак не противоречит текущей работе станции. Принимаемые на АЭС меры по предотвращению аварий и отказов направлены на повышение как коэффициента использования установленной мощности, так и экономической эффективности станции.

Как известно из открытых источников технической литературы, системы и элементы безопасности атомной

станции по характеру выполняемых ими функций делятся на:

— защитные. Служат для предотвращения или ограничения повреждения первых трех физических барьеров безопасности: топливных матриц, оболочек тепловыделяющих элементов и границ теплоносителя первого контура (т. е. корпуса реактора, трубопроводов и другого оборудования);

— локализирующие. Предназначены для предотвращения или ограничения распространения радиоактивных веществ при авариях на АЭС. Примером комплексной и наиболее эффективной локализирующей системы безопасности на современных АЭС является защитная оболочка (контейнмент);

— управляющие. Приводят в действие другие системы безопасности, контролируют и управляют ими в процессе выполнения заданных функций;

— обеспечивающие. Предназначены для снабжения систем безопасности энергией и их обеспечения рабочей средой. Обеспечивающие системы создают необходимые условия для надежного функционирования других систем безопасности [2].

Общая схема классификации систем и элементов атомной станции представлена на рисунке 1.

Подробнее рассмотрим обеспечивающие системы.

В соответствии с требованиями общей промышленной безопасности в проекте атомной станции должны быть предусмотрены обеспечивающие системы, которые обеспечивают рабочей средой, снабжают энергией и создают требуемые условия функционирования (включая передачу тепла конечному поглотителю) для других систем

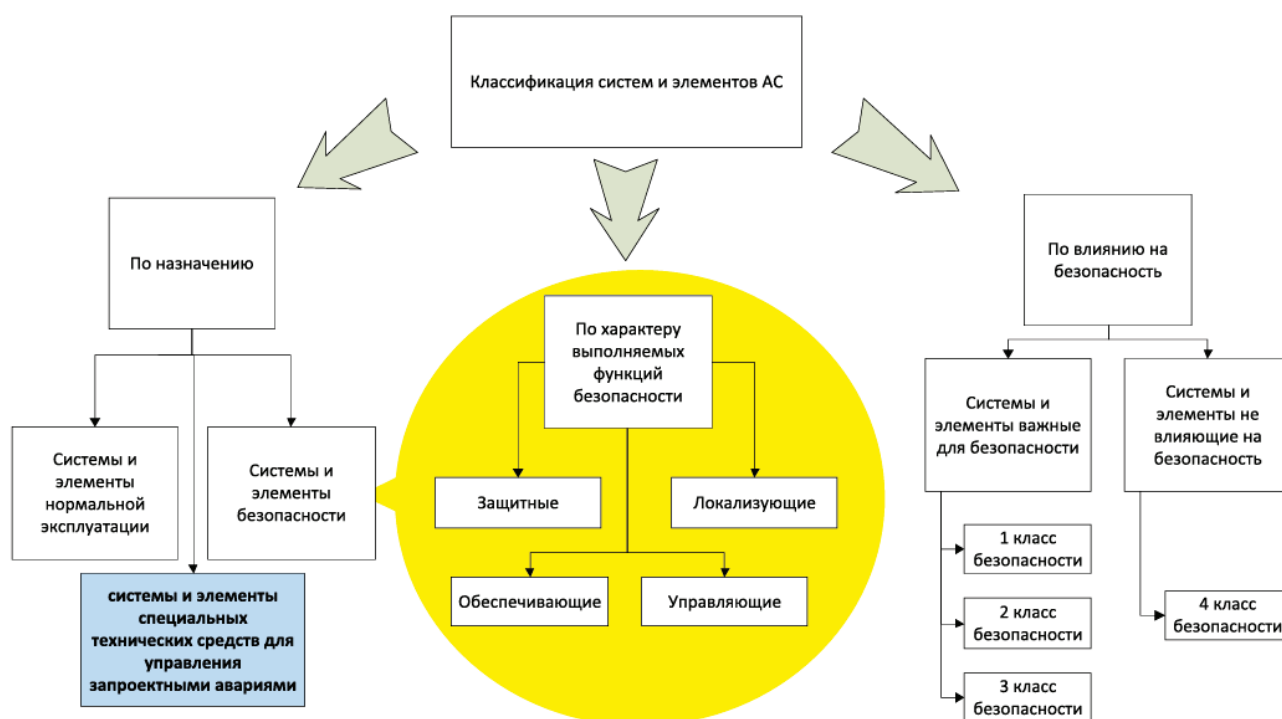


Рис. 1. Схема классификации систем и элементов атомной станции

безопасности. Обеспечивающие системы должны иметь такие показатели надежности выполнения заданных функций, чтобы в совокупности с показателями надежности других систем безопасности достигалась необходимая надежность их функционирования, определяемая в проекте атомной станции. Выполнение функций обеспечивающими системами имеет приоритет над действием внутренних защит их элементов, если это не приводит к более тяжелым последствиям для безопасности атомной станции [2].

Важными элементами обеспечивающих систем являются охлаждающие системы вентиляции и кондиционирования здания реактора (KLA). Схема вентиляции помещений внутреннего контейнента принята исходя из концепции разделения помещений на две зоны:

- необслуживаемая зона. Допуск персонала возможен только в режиме планово-предупредительного ремонта. Эта зона представляет собой выгороженный объем внутреннего контейнента, включающий в себя боксы парогенераторов и главных циркуляционных насосов, шахту реактора, вентиляционные камеры и другие помещения, где размещено оборудование и трубопроводы первого контура;

- зона ограниченного доступа. Допуск и кратковременное пребывание персонала предусматривается в режиме работы блока на мощности. Эта зона включает центральный зал, помещения электродвигателей главных циркуляционных насосов и другие помещения [2].

На рисунке 2 можно увидеть принципиальную схему функционирования системы вентиляции здания реактора, основанную на видеокадре автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Системы вентиляции помещений здания реактора предназначены для выполнения следующих функций:

- удаление избыточного тепла, влаги и поддержание оптимальных условий окружающей среды для нормальной работы оборудования;
- создание нормальных климатических условий для персонала при проведении планово-предупредительного ремонта и перегрузочных работ в период останова блока;
- очистка воздуха от радиоактивных загрязнений (аэрозолей и йода);
- создания разрежения не менее 200 Па в необслуживаемой зоне и 150 Па в зоне ограниченного доступа. Такое разрежение препятствует распространению активного воздуха за пределы герметичного контура через возможные неплотности при нормальном режиме работы станции;
- разбавление радиоактивных благородных газов в воздухе помещений [2].

С момента начала эксплуатации энергоблока ВВЭР-1200 Нововоронежской АЭС существует проблема функционирования системы вентиляции здания реактора. Системы KLA запускаются при помощи электродвигателей 5AM3H-280L-4A103 и 5AM3H-315S-4A103 мощностью 110 и 160 кВт соответственно.

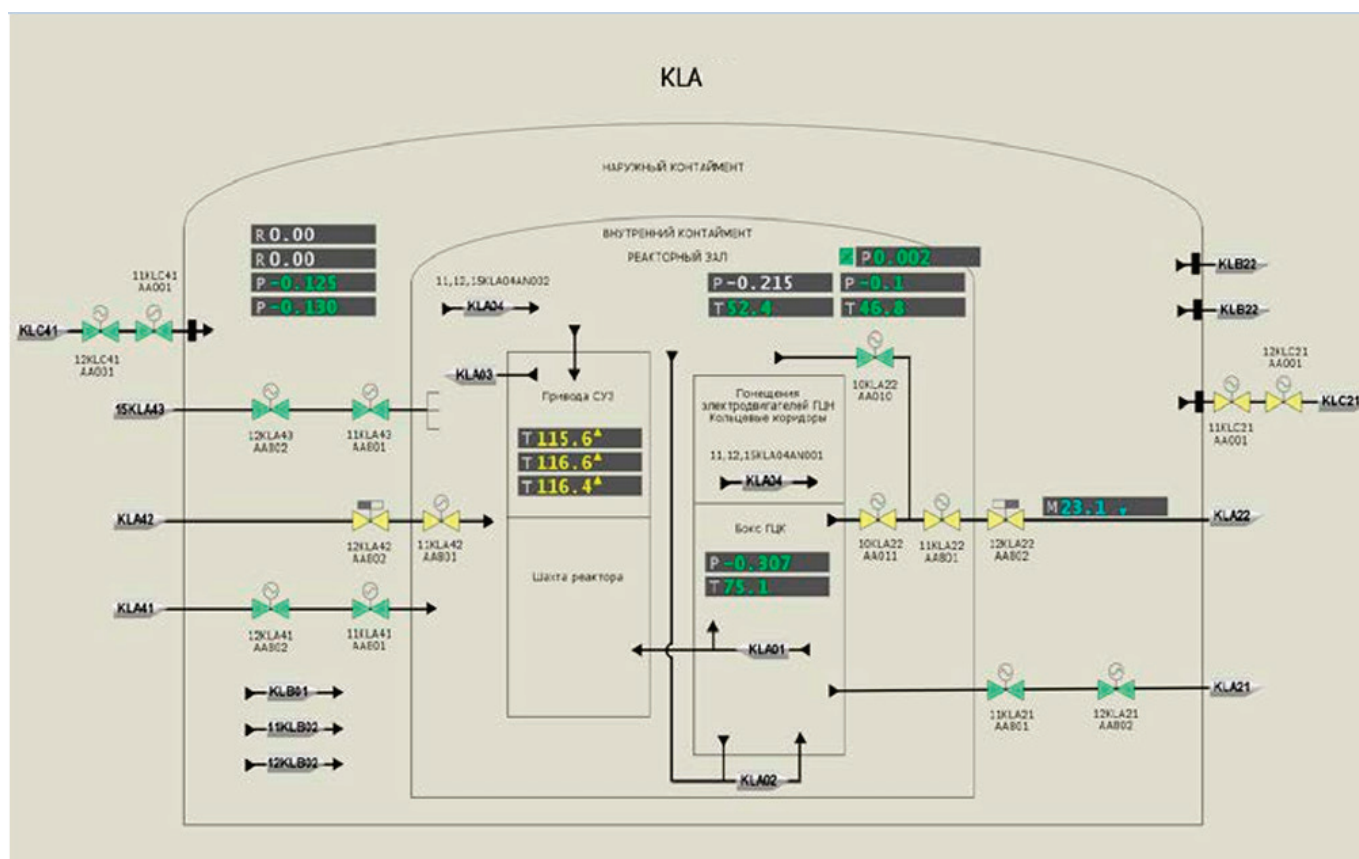


Рис. 2. Системы вентиляции здания реактора

Периодически (раз в несколько месяцев) агрегаты выходят из строя вследствие короткого замыкания в обмотке статора, а также выводов клеммной коробки. Это снижает надежность системы вентиляции здания реактора и увеличивает затраты на эксплуатацию (раз в несколько месяцев производится ремонт вышедшего из строя электродвигателя).

Причиной выхода из строя могут быть как внешние условия эксплуатации, так и особенности компоновки клеммной коробки электродвигателей и питающих кабелей.

Для повышения надежности системы безопасности необходимо исключить данные повторяющиеся события и в дальнейшем учитывать это при проектировании серийных блоков.

Можно предложить следующие пути для модернизации:

- внедрение устройства плавного пуска;
- внедрение преобразователей частоты;
- модернизация схемы подключения кабелей 0,4 кВ;
- корректировка внешних условий эксплуатации (температура, влажность).

Стоит также рассмотреть альтернативный метод решения задачи, используя математический анализ данных параметров внешних условий эксплуатации. Речь идет о методе главных компонент.

Метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) — алгоритм обучения без учителя, используемый для понижения размерности и выявления наиболее информативных признаков в совокупности данных.

Суть PCA заключается в предположении о линейности отношений данных и их проекции на подпространство ортогональных векторов, в которых дисперсия будет максимальной. Такие вектора называются главными компонентами, и они определяют направления наибольшей изменчивости (информативности) данных. Альтернативно суть PCA можно определить как линейное проектирование, минимизирующее среднеквадратичное расстояние между исходными точками и их проекциями [2].

Обучение без учителя (unsupervised learning) — это метод машинного обучения, при котором модель анализирует неразмеченные данные (без правильных ответов) для самостоятельного поиска скрытых закономерностей, структур или аномалий. Алгоритм сам группирует данные по схожести, снижает их размерность или находит аномалии.

Цель данного анализа — построения математической модели и графической модели параметров внешней среды эксплуатации электродвигателей с целью внедрения ее как основы для разработки автоматики, опережающей отключения или корректирующей параметры, а также системы, предсказывающей негативные события и отказы оборудования.

Построение математической модели следует начать с подготовки данных.

Параметры внешней среды за последние восемь лет эксплуатации электродвигателей KLA, значения которых реально получить, используя систему верхнего (блочного) уровня АСУ ТП, — это влажность, уровень вибрации, температура воздуха. Значения данных параметров целесообразно разбить на следующие категории:

- средние значения;
- максимальные значения;
- значения за 60 секунд до наступления события (короткого замыкания, аварийного отключения).

Для наглядности применения метода PCA возьмем параметры для 15 аналогичных событий.

В таблице 1 можно увидеть, как по пяти различным событиям меняются значения следующих параметров аналогичных агрегатов:

- температура;
- влажность;
- вертикальная виброскорость в зоне переднего и заднего подшипников электродвигателя (вибрация 1 и 2) и вентилятора (вибрация 3 и 4).

Седьмой параметр — мощность электродвигателя — берется как константа.

В результате разложения шести переменных мы получаем две новые переменные, которые являются осями графиков параметров эксплуатации электродвигателя за несколько секунд до нарушения.

На рисунке 3 приведен результат искомого тестового исследования.

## Заключение

Используя данные параметров эксплуатации электродвигателей системы вентиляции герметичной оболочки здания реактора, можно выявить зависимость оптимальной работы от параметров агрегатов исследуемого

Таблица 1. Сводные данные для анализа PCA

№ события Параметр	1	2	3	4	5
Температура, °C	47,6	48,2	44,9	44,6	40,9
Влажность, %	29,1	31,6	25	30,4	40,7
Вибрация 1, мм/с	2,8	3,1	1,3	0,3	3,8
Вибрация 2, мм/с	0,8	1,1	1,4	0,1	2,4
Вибрация 3, мм/с	1,8	1,0	1,0	0,4	5,4
Вибрация 4, мм/с	1,6	3,0	2,2	0,0	2,9

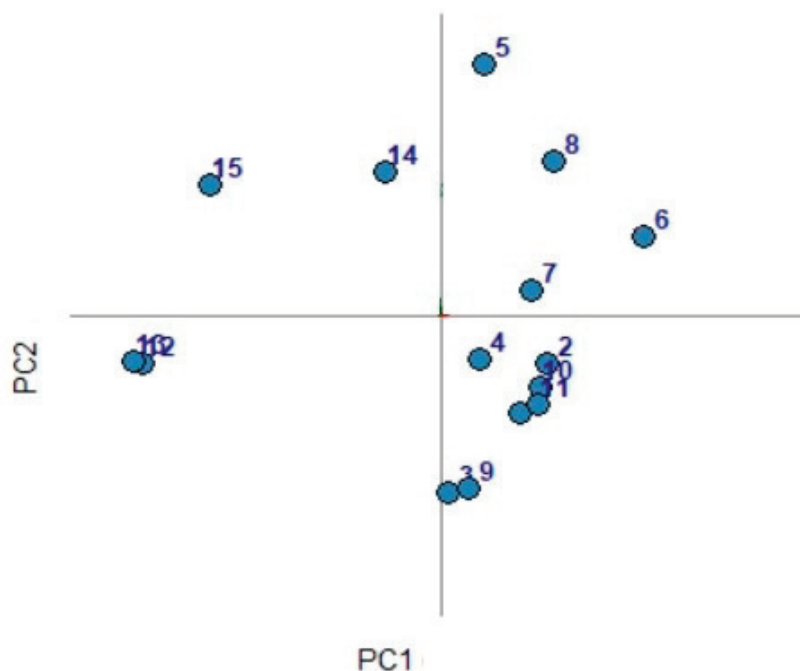


Рис. 3. График параметров работы электродвигателей за 60 секунд до нарушения (по методу PCA)

типа. Точки на рисунке 3 описывают фигуру, которая будет являться ограничивающей зоной, при приближении к которой или параметры должны автоматически корректироваться, или агрегат должен отключаться до того, как произойдет негативное событие (короткое замыкание, повреждение обмоток электродвигателя, а как следствие, простой оборудования, снижение надежности обеспечивающей системы безопасности, экономические потери).

Математические модели можно в дальнейшем использовать для разработки опережающей автоматики и автоматизированных систем, предсказывающих негативные события и отказы оборудования.

Данная концепция позволит повысить надежность аналогичных систем безопасности, а также систем нормальной эксплуатации при проектировании энергоблоков следующих поколений.

#### Литература:

1. Поваров В. П., Платонов П. Д., Украинцев В. Ф., Горшков В. И., Воронцов В. В., Яуров С. В., Стацура Д. Б. Оборудование и технологические системы нормальной эксплуатации ядерной установки в проекте АЭС-2006. — Воронеж : Кварта, 2023. — 780 с.
2. Поваров В. П., Украинцев В. Ф., Стацура Д. Б., Гусев И. Н., Платонов П. Д., Тучков М. Ю. Системы безопасности АЭС-2006. — Воронеж : АО «Воронежская областная типография — издательство им. Е. А. Болховитинова», 2020. — 540 с.
3. Как работает метод главных компонент (PCA) на простом примере. — URL: <https://habr.com/ru/articles/304214> (дата обращения 15.06.2026).

## Геодезическое сопровождение строительства дошкольного учреждения в условиях ревитализируемой промышленной территории

Нуриев Ринал Зуфарович, студент

Уральский государственный экономический университет (г. Екатеринбург)

*В статье рассмотрены особенности организации геодезических работ при строительстве ДООУ на участке бывшего промышленного предприятия в Екатеринбурге. Выявлены основные проблемы, связанные с техногенными грунтами, плотной застройкой и климатом. Предложены пути совершенствования на основе лазерного сканирования, BIM-интеграции и динамического мониторинга геодезической основы.*



**Ключевые слова:** геодезические работы, строительный контроль, BIM, лазерное сканирование, дошкольное учреждение, техногенные грунты.

Ревитализация промышленных зон в крупных городах, включая Екатеринбург, требует строительства социальных объектов на площадках со сложными инженерно-геологическими условиями: техногенные насыпные грунты, остатки фундаментов, высокий уровень грунтовых вод [1, 3]. Точность геодезического сопровождения становится критическим фактором качества и безопасности [2]. В статье обобщён опыт строительства дошкольного учреждения (ДООУ) на 200 мест в Железнодорожном районе Екатеринбурга (жилой квартал «Космонавтов 11», бывшая территория завода «Уралпластик»).

Здание ДООУ — трехэтажное, каркасно-стенное, монолитное, со свайно-плитным фундаментом [3]. Площадка отличается плотной окружающей застройкой, развитыми подземными коммуникациями, активной работой тех-

ники. Инженерно-геологические условия: техногенные грунты мощностью 2–5 м (песок, щебень, строительный мусор, обломки бетона), ниже — элювиальные глины и суглинки, подстилаемые выветрелыми скалами. Грунтовые воды на глубине 1,5–3,0 м, агрессивны к бетону. Климат — резко континентальный, подрайон IV (зимой до -45 °С), глубина промерзания до 2,4 м.

Геодезические работы ведутся в местной системе координат г. Екатеринбурга (СК-42) и в Балтийской системе высот [4]. Применяются роботизированные тахеометры Leica TS16, GNSS Leica GS18 T, нивелиры Leica LS15, лазерный сканер Leica RTC360. Обработка — в CREDO\_DAT, AutoCAD Civil 3D, Autodesk Revit. Анализ практики выявил комплекс проблем, которые систематизированы в таблице 1.

Таблица 1. Проблемы геодезических работ и пути их решения при строительстве на ревитализируемой территории

Проблема	Причина	Последствия	Предлагаемое решение
Нестабильность пунктов ГРО	Техногенные насыпные грунты, вибрация от техники, сезонное пучение	Смещение основы, необходимость частых контрольных измерений, риск накопления ошибок	Глубинные реперы до скалы, автоматизированный мониторинг, еженедельное уравнивание
Ограниченное применение GNSS	«Городской каньон» (высотные здания, краны), многолучевость	Невозможность RTK-измерений в прифасадных зонах	Комбинирование GNSS с тахеометрией, применение инерциальных систем в вехах
Климатические погрешности	Низкие температуры, промерзание грунтов, турбулентность воздуха	Сжатие реек/рулеток, снижение точности вертикальных проекций	Температурные поправки, защита приборов, планирование ответственных работ на тёплый период
Низкая оперативность исполнительного контроля	Ручная фиксация точек, бумажная отчётность	Задержка передачи данных, несвоевременное выявление брака	Лазерное сканирование, облачные сервисы, автоматическое сравнение с BIM
Повреждение геодезических знаков	Человеческий фактор (рабочие, техника)	Утрата ориентиров, вторные разбивки	Визуальная маркировка, защитные кожухи, резервные пункты
Информационный разрыв	Отсутствие интеграции полевых данных в BIM	Разночтения между проектом и фактом, задержки в управлении	Использование единой цифровой платформы (BIM 360, Trimble Connect)

На основе выявленных проблем предложены следующие меры [4].

1. Динамический мониторинг ГРО. Вместо периодических проверок — создание локальной деформационной сети из глубинных реперов, забитых в скальное основание. Контрольное высокоточное нивелирование перед каждым ответственным этапом. Применение автоматических инклинометров с беспроводной передачей данных.
2. Внедрение наземного лазерного сканирования (TLS). Для исполнительной съёмки монолитных конструкций TLS позволяет получить миллионы точек вместо 20–30 при тахеометрии. Сопоставление облака

точек с BIM-моделью в Navisworks или RealWorks автоматически генерирует карты отклонений («тепловые карты»), сокращая время оформления документации в 3–5 раз.

3. Облачная BIM-интеграция. Прямая выгрузка координат с тахеометра в облачный сервис (Autodesk BIM 360, Trimble Connect). Автоматическое сравнение с проектной моделью, при превышении допуска — уведомление руководителя работ. Исключаются ошибки ручного ввода и задержки.

4. Адаптация к зимним условиям. Регламент температурных поправок для разных материалов. Использо-

вание термочехлов для приборов. Планирование нулевого цикла в теплое время или устройство тепляков.

5. Кадровое и нормативное обеспечение. Повышение квалификации геодезистов по программам «BIM-менеджер», актуализация СП 126.13330.2017 в части цифровой исполнительной модели.

Апробация на ограниченном участке (фундаментная плита ДООУ) показала: лазерное сканирование выявило отклонения защитного слоя арматуры в трёх зонах, устранённые до набора прочности; облачная синхронизация сократила время передачи данных от геодезиста до главного инженера с 2–3 часов до 10–15 минут; глубинные реперы обеспечили стабильность высотного обоснования при интенсивном движении самосвалов.

Таким образом, комплексный подход — надёжное закрепление ГРО, лазерное сканирование, BIM-инте-

грация — эффективен для строительства социальных объектов на ревитализируемых промышленных территориях.

Исследование на примере строительства ДООУ в Екатеринбурге подтвердило, что традиционные методы геодезического сопровождения недостаточно эффективны в условиях техногенных грунтов, плотной застройки и сурового климата. Ключевые проблемы: нестабильность ГРО, ограниченность GNSS, климатические влияния, информационные барьеры. Предложенные перспективные направления — динамический мониторинг основы, лазерное сканирование, облачная BIM-интеграция, методические и кадровые улучшения — позволяют повысить точность, оперативность и надёжность контроля. Результаты могут быть распространены на другие объекты социальной инфраструктуры, возводимые на подобных территориях.

#### Литература:

1. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве: актуализированная редакция СНиП 3.01.03–84. — Москва: Минстрой России, 2017. — Текст: непосредственный.
2. СП 131.13330.2020. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23–01–99. — Москва: Минстрой России, 2020. — Текст: непосредственный.
3. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: актуализированная редакция СНиП 11–02–96. — Москва: Минстрой России, 2016. — Текст: непосредственный.
4. Проектная документация. Дошкольное образовательное учреждение в границах проспекта Космонавтов — переулка Полимерный — переулка Мельковский в Железнодорожном районе г. Екатеринбурга: рабочий проект / ПИК-Проект. — Екатеринбург, 2023. — Текст: непосредственный.

## Систематизация конструкторской документации страхующих устройств локализации течи для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС

Рыков Даниил Александрович, студент магистратуры  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

*В статье рассмотрена задача систематизации конструкторской документации страхующих устройств локализации течи, применяемых при обслуживании оборудования энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС. Актуальность работы обусловлена значительным объёмом накопленной документации и отсутствием единой структуры её хранения и повторного использования. Показано, что разрозненное размещение чертежей в форматах КОМПАСЧертеж, PDF и бумажного архива увеличивает время поиска нужного исполнения, затрудняет проверку актуальности документов и приводит к дублированию инженерной работы. Предложен подход к формированию библиотеки стандартизированной конструкторской документации, основанный на классификации по номеру энергоблока, месту локализации течи и условному диаметру. Разработанная структура обеспечивает удобную навигацию, однозначную идентификацию исполнений и возможность повторного использования готовых комплектов документов при подготовке ремонтных работ.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция, Нововоронежская АЭС, страхующее устройство локализации течи, СУЛТ, конструкторская документация, ремонтная оснастка, библиотека документов.

#### Введение

Эксплуатация атомной электростанции предъявляет повышенные требования к срокам и качеству выполнения ремонтных работ. Любое увеличение продолжи-

тельности подготовки ремонта или задержка при устранении дефекта отражаются не только на техническом состоянии оборудования, но и на экономических показателях работы энергоблока. В этих условиях существенное значение имеет ремонтная оснастка, используемая при де-

монтаже, монтаже, герметизации соединений и локализации течей.

Отдельное место среди таких средств занимают страхующие устройства локализации течи. Их применение позволяет оперативно сдерживать развитие дефекта, выиграть время для принятия технического решения и в ряде случаев избежать вынужденного останова энергоблока либо сократить его продолжительность. Следовательно, СУЛТ обладают не только технологической, но и выраженной практической значимостью.

Практика эксплуатации Нововоронежской АЭС показывает, что по страхующим устройствам локализации течи накоплен значительный массив конструкторской документации. Для энергоблоков 4–7 существует большое количество чертежей, относящихся к различным местам локализации течи и условным диаметрам. Однако документация хранится разрозненно: в виде файлов КОМПАСЧертеж, PDF-копий и бумажного архива. Это затрудняет быстрый поиск нужного решения и повторное использование ранее разработанных комплектов документов.

Проблема состоит не в отсутствии готовых инженерных решений, а в отсутствии стандартизированной системы их хранения и доступа. При разрозненном хранении документов инженерный персонал тратит дополнительное время на поиск нужного чертежа, проверку его актуальности и восстановление недостающих данных. В отдельных случаях комплект документации приходится создавать заново, что приводит к дублированию работы и увеличению трудоёмкости подготовки ремонта.

Целью статьи является рассмотрение принципов систематизации конструкторской документации страхующих устройств локализации течи и обоснование необходимости создания специализированной библиотеки для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС.

### Анализ исходного состояния документации

На энергоблоках 4–7 Нововоронежской АЭС сформирован значительный фонд документации по ремонтной оснастке. Одной из наиболее показательных групп для анализа являются именно страхующие устройства локализации течи, поскольку по ним накоплено более 500 чертежей. Данный массив включает исполнения, различающиеся по месту применения, принадлежности к конкретному блоку, условному диаметру и особенностям конструкции.

Для оснастки, применяемой на атомной электростанции, характерно большое количество исполнений. Даже в пределах одного типа устройства встречаются варианты, отличающиеся по конфигурации присоединительных элементов, месту локализации течи и области применения. Поэтому поиск нужной документации должен учитывать не только название изделия, но и параметры его фактической применимости.

Текущее состояние архива характеризуется неоднородностью форматов хранения. Часть документации пред-

ставлена редактируемыми файлами КОМПАСЧертеж, часть существует только в виде PDF-копий, а часть — на бумажных носителях. При таком состоянии архива даже наличие большого количества ранее разработанных решений не гарантирует их быстрого и удобного использования.

Традиционное архивное хранение создаёт несколько устойчивых проблем. Во-первых, поиск нужного чертежа может занимать длительное время, поскольку документы размещены в разных каталогах и часто зависят от неформального знания сотрудников. Во-вторых, возникает дублирование инженерной работы, когда при отсутствии быстрого доступа к существующему решению изделие разрабатывается повторно. В-третьих, существует риск применения устаревшего файла, если отсутствует единый признак актуальности документации.

Для страхующих устройств локализации течи указанные недостатки особенно критичны. Задержка в поиске чертежа означает задержку в изготовлении или применении оснастки, а следовательно, увеличивает риск лишних временных затрат при выполнении ремонтных работ. По этой причине систематизация документации СУЛТ должна рассматриваться не только как задача архивирования, но и как практический инженерный инструмент.

### Принципы систематизации документации

Для устранения указанных проблем требуется переход от обычного архива к цифровой библиотеке стандартизированной конструкторской документации. Такая библиотека должна обеспечивать понятную структуру хранения, быстрый поиск по прикладным признакам и возможность повторного использования готовых комплектов документов.

Важнейшим принципом построения библиотеки является соответствие логике реального поиска. Пользователь, как правило, знает тип оснастки, энергоблок и ориентировочный типоразмер. Следовательно, именно эти признаки должны быть положены в основу структуры каталогов.

В качестве основных классификационных признаков целесообразно использовать:

- принадлежность изделия к энергоблоку;
- место локализации течи;
- условный диаметр трубопровода или элемента арматуры;
- состав и формат документации.

Использование указанных признаков позволяет сформировать древовидную структуру хранилища, в которой переход от общего раздела к конкретному исполнению осуществляется последовательно и логично. На верхнем уровне структура может быть организована по энергоблокам 4, 5, 6 и 7. Внутри каждого блока документация подразделяется по месту локализации течи, например: фланцевое соединение, сварной шов, тройник арматуры, переход с одного диаметра на другой, приварной стакан.

На следующем уровне выделяются исполнения по условному диаметру DN. Внутри соответствующей папки размещается комплект документации на конкретное исполнение СУЛТ.

Такой подход обеспечивает однозначную идентификацию документации. Уже по имени папки или документа можно определить, для какого энергоблока предназначено устройство, в какой зоне локализуется течь и к какому условному диаметру относится исполнение. Это снижает вероятность ошибки при выборе чертежа и уменьшает зависимость результата от личного опыта конкретного специалиста.

### Состав единицы хранения

Одним из ключевых вопросов при формировании библиотеки является определение минимальной самостоятельной единицы хранения. Для страхующих устройств локализации течи в качестве такой единицы целесообразно использовать комплект конструкторской документации на конкретное исполнение.

В состав такого комплекта должны входить:

- рабочий чертёж в формате КОМПАСЧертёж;
- PDF-представление для просмотра и печати;

— при необходимости дополнительные материалы, связанные с уточнением, восстановлением или сопровождением документации.

Принцип комплектности имеет важное практическое значение. Пользователь должен получать не отдельный файл, а законченный набор материалов, достаточный для понимания назначения устройства, проверки его применимости и последующей передачи документации в производство или в ремонтное подразделение.

Особое значение имеет приведение исходных документов к единому формату. Если чертёж уже существует в редактируемом виде, его необходимо проверить на читаемость, полноту оформления и соответствие принятым правилам именования. Если же исходный материал представлен только в виде PDF-копии или бумажного архива, то при необходимости он подлежит восстановлению в формате КОМПАСЧертёж с последующей проверкой соответствия исходному документу.

Приведение документации к единому формату следует понимать не только как перевод из одного расширения в другое. Речь идёт о включении документа в общую систему хранения, где он получает стандартное имя, фиксированное положение в структуре библиотеки и понятные признаки идентификации. Только при таком подходе библиотека становится не набором разрозненных материалов, а полноценным рабочим инструментом.

### Практическое значение библиотеки

Практическая значимость библиотеки заключается в сокращении времени поиска и подготовки конструктор-

ской документации на СУЛТ. При наличии структурированного хранилища специалист получает возможность быстро определить, существует ли необходимое исполнение, проверить его применимость и использовать готовый комплект без повторной разработки.

Дополнительным результатом является уменьшение объёма повторного проектирования. Если ранее созданное исполнение доступно в библиотеке и сопровождается понятной системой идентификации, инженерному персоналу не требуется заново строить уже существующее изделие. Это снижает трудоёмкость подготовки ремонтных работ и способствует более рациональному использованию ранее накопленного инженерного опыта.

Не менее важным эффектом является повышение надёжности использования документации. Единые правила хранения, именования и комплектования позволяют уменьшить риск применения устаревших или неполных документов. В условиях атомной станции это имеет особую значимость, поскольку качество подготовки ремонтной оснастки напрямую связано с оперативностью и организованностью инженерных действий.

Разработанный подход может применяться не только к страхующим устройствам локализации течи, но и к другим видам ремонтной оснастки, используемой на АЭС. Следовательно, библиотека СУЛТ может рассматриваться как пилотное решение, демонстрирующее общие принципы систематизации конструкторской документации в инженерной деятельности атомной станции.

### Заключение

Проведённый анализ показывает, что основная проблема существующего массива конструкторской документации СУЛТ связана не с отсутствием инженерных решений, а с разрозненным хранением документов и отсутствием единой системы их использования. В этих условиях создание библиотеки стандартизированной конструкторской документации является необходимым шагом для повышения эффективности инженерной подготовки ремонта.

Предлагаемая система классификации по энергоблоку, месту локализации течи и условному диаметру обеспечивает логичную структуру хранения и однозначную идентификацию исполнений. Формирование единицы хранения в виде полного комплекта конструкторской документации делает библиотеку удобной для практического применения.

Таким образом, систематизация документации страхующих устройств локализации течи позволяет превратить накопленный архив чертежей в рабочий инструмент сопровождения ремонтной оснастки. Это создаёт условия для ускорения поиска нужных решений, уменьшения дублирования инженерной работы и повышения общей организованности документооборота при эксплуатации оборудования энергоблоков АЭС.



## Литература:

1. Рыков Д. А. Разработка библиотеки конструкторской документации страхующих устройств локализации течи для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС: выпускная квалификационная работа. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2026.
2. ГОСТ 2.102–2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.
3. ГОСТ 2.104–2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
4. ГОСТ 2.109–73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам.
5. ГОСТ 2.701–2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

## Разработка и практическая апробация библиотеки конструкторской документации страхующих устройств локализации течи в среде КОМПАСЧертеж

Рыков Даниил Александрович, студент магистратуры  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (г. Москва)

*В статье представлены результаты разработки и практической апробации библиотеки конструкторской документации страхующих устройств локализации течи для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС. Библиотека реализована как структурированное файловое хранилище в среде КОМПАСЧертеж с едиными правилами идентификации и комплектования документов. Рассмотрены этапы подготовки исходных данных, приведения чертежей к единому формату, формирования комплектов документации и их размещения в иерархической структуре каталогов. Показано, что использование библиотеки упрощает поиск требуемого исполнения по номеру энергоблока, месту локализации течи и условному диаметру, а также уменьшает трудоёмкость подготовки материалов к изготовлению и применению. Приведена ориентировочная техникоэкономическая оценка, подтверждающая практическую значимость разработанного решения.*

**Ключевые слова:** КОМПАСЧертеж, атомная электростанция, Нововоронежская АЭС, СУЛТ, конструкторская документация, библиотека, ремонтная оснастка, экономический эффект.

### Введение

Страхующие устройства локализации течи относятся к числу наиболее практически значимых видов ремонтной оснастки, применяемой на атомной электростанции. Их использование позволяет оперативно сдержать развитие дефекта, выиграть время для принятия дальнейших технических решений и в ряде случаев избежать вынужденного останова энергоблока либо сократить его продолжительность.

Для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС накоплен значительный массив конструкторской документации по СУЛТ. Однако длительное время данная документация хранилась разрозненно: в редактируемых файлах, PDF-копиях и бумажном архиве. При таком подходе даже наличие большого числа готовых решений не гарантирует их быстрого и удобного использования в инженерной практике.

Создание библиотеки конструкторской документации СУЛТ направлено на решение этой проблемы. Целью статьи является описание практической реализации такой библиотеки в среде КОМПАСЧертеж и оценка её прикладной эффективности.

### Подготовка исходных данных

Первым этапом реализации библиотеки является сбор и анализ имеющихся материалов. Исходная документация по СУЛТ представлена в нескольких формах: часть чертежей существует в редактируемом виде, часть сохранена в PDF-формате, часть доступна только на бумажных носителях. Такое состояние архива создаёт разрыв между фактом наличия документа и возможностью его непосредственного использования.

Для устранения этой проблемы все документы были приведены к единому рабочему формату. В качестве базовой среды разработки и редактирования принят КОМПАСЧертеж. Данный формат обеспечивает возможность корректировки размеров, внесения технических требований, выпуска обновлённой документации и последующей печати. Одновременно для каждого исполнения формируется PDF-представление, удобное для просмотра, передачи и быстрого использования без запуска САПР-системы.

Если исходный чертёж уже имелся в редактируемом формате, выполнялась его проверка на полноту оформления, читаемость и соответствие принятым правилам



хранения. Если же документ существовал только в виде PDF-копии или бумажного материала, при необходимости производилось его восстановление в формате КОМПАСЧертеж с последующей проверкой соответствия исходным данным.

### Формирование структуры библиотеки

Разработанная библиотека реализована как иерархическое файловое хранилище, построенное по принципу последовательного уточнения признаков классификации. Такой подход позволяет пользователю переходить от общего раздела к конкретному исполнению логично и без лишних действий.

На верхнем уровне структура разделена по энергоблокам 4, 5, 6 и 7 Нововоронежской АЭС. Внутри каждого блока документация распределена по месту локализации течи, например по фланцевому соединению, сварному шву, тройнику арматуры, переходу с одного диаметра на другой или приварному стакану. На следующем уровне формируются папки по условному диаметру DN. Внутри них размещаются комплекты документации на конкретные исполнения СУЛТ.

Такое построение библиотеки обеспечивает однозначную идентификацию изделий. Уже по пути к папке можно определить, к какому энергоблоку относится устройство, где именно локализуется течь и на какой типоразмер рассчитано соответствующее исполнение. Это позволяет резко сократить время навигации по архиву и уменьшить вероятность ошибочного выбора документации.

### Состав комплекта документации

Минимальной самостоятельной единицей хранения в библиотеке является комплект конструкторской документации на конкретное исполнение СУЛТ. В состав такого комплекта включаются рабочий чертёж в формате КОМПАСЧертеж, PDF-представление для просмотра и печати, а также при необходимости дополнительные файлы, содержащие сведения об уточнении, восстановлении или сопровождении документации.

Принцип комплектности обеспечивает практическое удобство использования библиотеки. Инженер получает не отдельный файл, а законченную единицу хранения, достаточную для анализа, выбора, передачи и дальнейшего применения документации. Это особенно важно в условиях, когда требуется оперативно принять решение о применимости конкретного исполнения.

Дополнительное значение имеет унификация именования файлов и каталогов. Единые правила обозначения позволяют исключить неоднозначность, упростить пополнение библиотеки новыми исполнениями и обеспечить преемственность использования архива при смене сотрудников или передаче материалов между подразделениями.

### Практическая апробация библиотеки

Разработанная структура была апробирована на примере конкретных исполнений СУЛТ для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС. Практический сценарий использования библиотеки предполагает, что инженер задаёт известные признаки поиска: номер энергоблока, место локализации течи и условный диаметр. После этого по заранее определённой логике каталогов он выходит на необходимый комплект документации.

Например, если требуется подобрать исполнение для локализации течи на фланцевом соединении блока 5 при DN 150, пользователю не требуется просматривать весь массив чертежей вручную. Достаточно последовательно перейти по ветке каталога, соответствующей этим признакам, и получить доступ к конкретному комплекту файлов. Такой подход снижает зависимость результата от личного опыта сотрудника и делает использование архива воспроизводимым.

В результате библиотека выполняет сразу несколько функций: обеспечивает структурированное хранение, упрощает поиск, ускоряет повторное использование ранее разработанных решений и создаёт основу для дальнейшего пополнения архива. За счёт этого она становится не пассивным накопителем документов, а рабочим инструментом инженерной деятельности.

### Оценка практической эффективности

Одним из важных результатов разработки библиотеки является сокращение времени, затрачиваемого на поиск и подготовку документации. Чем быстрее найдено подходящее исполнение СУЛТ, тем выше вероятность оперативного изготовления или адаптации оснастки к конкретной задаче. Это особенно важно в ситуациях, когда промедление приводит к увеличению продолжительности ремонтных работ.

Для ориентировочной оценки практической эффективности в ВКР использовано выражение

$$E = P \times t \times C$$

где  $P$  — электрическая мощность энергоблока при номинальной нагрузке,  $t$  — предотвращённое время простоя,  $C$  — стоимость электроэнергии для потребителя. При использовании мощности энергоблока 990 МВт и стоимости электроэнергии 2342 руб./(МВт·ч) сокращение простоя даже на несколько часов даёт значительный ориентировочный эффект. Так, при предотвращении 4 часов простоя расчётный эффект составляет 9 274 320 руб., при 8 часах — 18 548 640 руб., при 12 часах — 27 822 960 руб., а при 24 часах — 55 645 920 руб.

Приведённые значения носят ориентировочный характер, однако они наглядно демонстрируют, что ускорение поиска и подготовки документации по СУЛТ имеет не только организационное, но и экономическое значение. Библиотека не устраняет сам дефект, но сокращает время

инженерной подготовки, а значит, снижает риск дополнительных потерь, связанных с простым оборудования.

### Перспективы развития

Разработанная библиотека может быть расширена за счёт включения других видов ремонтной оснастки, используемой на атомной станции. Перспективным направлением является дальнейшая цифровизация архива, введение карточек изделий с дополнительными атрибутами поиска, а также развитие средств контроля актуальности документации.

Кроме того, библиотека может стать основой для более глубокой интеграции с корпоративными системами хранения и сопровождения инженерных данных. В этом случае она будет выполнять не только функцию файлового хранилища, но и функцию элемента цифровой среды технической подготовки ремонта.

### Литература:

1. Рыков Д. А. Разработка библиотеки конструкторской документации страхующих устройств локализации течи для энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС: выпускная квалификационная работа. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2026.
2. ГОСТ 2.102–2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.
3. ГОСТ 2.104–2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
4. ГОСТ 2.109–73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам.
5. ГОСТ 21.1101–2013. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.

### Заключение

Практическая реализация библиотеки конструкторской документации СУЛТ в среде КОМПАСЧертёж показала, что структурированное файловое хранилище с едиными правилами комплектования и идентификации существенно повышает удобство использования накопленного архива. Разработанный подход обеспечивает ускорение поиска нужных исполнений, уменьшение дублирования инженерной работы и повышение организованности работы с документацией.

Апробация библиотеки на материалах энергоблоков 4–7 Нововоронежской АЭС подтверждает её прикладную значимость. Систематизация документации по номеру блока, месту локализации течи и условному диаметру позволяет превратить разрозненный массив чертежей в практический инструмент инженерного сопровождения ремонтных работ.

## Использование инновационного бетона и фибробетона

Ситникова Дарья Дмитриевна, студент  
Астраханский государственный технический университет

*В статье рассматриваются современные виды инновационных бетонов, преимущественно фибробетон, его состав, технические характеристики, достоинства и ограничения. Приведены сравнительные данные различных типов фибры, а также рассмотрены гибкий бетон и люмобетон.*

**В** настоящее время в строительной отрасли активно разрабатываются и внедряются композитные материалы, превосходящие традиционные по эксплуатационным характеристикам. Среди них значимое место занимают инновационные бетоны, в частности, фибробетон.

Фибробетон представляет собой композитный строительный материал, в структуру которого вводятся дискретные волокна (фибра) для повышения физико-механических свойств. В зависимости от типа армирующего компонента различают стальное, стеклянное, базальтовое и полипропиленовое волокно [1].

Применение фибробетона обладает рядом преимуществ по сравнению с обычным бетоном и традиционным железобетоном:

— Предотвращение усадочных трещин. Волокна перераспределяют внутренние напряжения, возникающие при испарении воды из смеси, что снижает риск образования дефектов.

— Повышение долговечности и прочности на растяжение. Фибра увеличивает срок службы материала, уменьшает коррозионные и кавитационные повреждения.

— Улучшенная пластичность. Фибробетон сохраняет целостность при высоких растягивающих напряжениях и способен выдерживать повышенные нагрузки.

— Частичная альтернатива стержневой арматуре. В ряде конструкций фибробетон позволяет сократить объём стали, снижая стоимость проекта.

Однако материалу присущи и недостатки: необходимость тщательного равномерного распределения волокон

Таблица 1. Сравнительные характеристики различных типов фибры [3]

Показатель	Базальтовая фибра	Полипропиленовая фибра	Стекловолоконная фибра	Стальная (металлическая) фибра
Материал	Базальтовое волокно	Полипропилен	Стекловолокно	Проволока из углеродистой стали
Прочность на растяжение, МПа	3500	150–600	1500–3500	600–1500
Диаметр волокна	13–17 мкм	10–25 мкм	13–15 мкм	0,5–1,2 мм
Длина волокна	3,2–15,7 мм	6–18 мм	4,5–18 мм	30–50 мм
Модуль упругости ГПа	Не менее 75	35	75	190
Коэффициент удлинения, температура плавления	3,2 1450	20–150 160	4,5 860	3–4 1550
Стойкость к щелочам и коррозии	Высокая	Высокая	Только у щелочестойкого волокна	Низкая
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,60	0,91	2,60	7,80

в смеси, более высокая стоимость по сравнению с неармированным бетоном, а в случае стальной фибры — увеличение массы конструкции [2].

Технические характеристики фибробетона варьируются в зависимости от вида фибры (таблица 1).

Параметр прочности напрямую соответствует классу фибробетонной смеси, гарантирующему заданную прочность не менее чем на 95 %. Прочность материала зависит от качественных и физико-химических свойств фибры и класса бетона-матрицы. Заводы выпускают смеси с показателем прочности В7,5...В60. Средняя прочность на сжатие составляет от 60 до 250 МПа, на растяжение — 10...30 МПа. Максимальной прочностью на сжатие обладает стеклофибробетон благодаря высокой прочности армирующей фибры.

По плотности фибробетон разделяется на: тяжелый — от 2000 кг/м<sup>3</sup>, облегченный — до 2000 кг/м<sup>3</sup> и легкий — 500–1800 кг/м<sup>3</sup>. Как правило, среднее значение плотности для материала с фиброй составляет от 500 до 2000 кг на 1 м<sup>3</sup>, что на 20–30 % меньше, чем у аналогичных по классу бетонов без армирования.

Удельный вес 1 кубического метра. Масса 1 кубометра фибробетона значительно меньше массы классического бетона. Зная, сколько весит куб смеси, и какую она имеет плотность, можно легко рассчитать объемные характеристики материала. Легкий вес и минимальная нагрузка на конструкции и основания — важнейшее преимущества фибробетона, позволяющее значительно расширить сферу его использования.

Способность материала противостоять разрушению и действующим нагрузкам без деформации определяется модулем упругости. Показатели пластичности для бетона с фиброволокном — 35...200 Мпа. Максимальными прочностными качествами по упругости обладает стекло-

и сталефибробетон. Поведение полипропиленового фибробетона зависит от особенностей полимерных фиброволокон. [3]

Помимо фибробетона, в современной практике применяются иные виды инновационных бетонов.

Гибкий бетон разработан путём введения в цементную матрицу полимерного микроволокна (тоньше человеческого волоса). Материал способен деформироваться без разрушения при высоком давлении, а его поверхность обеспечивает высокое сопротивление скольжению. По прочностным характеристикам гибкий бетон сопоставим с металлом и вдвое превосходит обычный бетон по твердости [4].

Люмобетон содержит люминофор — вещество, накапливающее световую энергию и излучающее её в темноте. Длительность свечения составляет 6–12 часов. Применяется для производства тротуарной плитки, декоративного камня, садовых скульптур, элементов интерьера. Материал экологически безопасен и гигиеничен [5].

Проведённый анализ показывает, что инновационные бетоны, в особенности фибробетон, обладают значительными преимуществами перед традиционными материалами: повышенной прочностью на растяжение, трещиностойкостью, долговечностью и вариативностью физико-механических свойств. Выбор конкретного типа фибры (базальтовой, полипропиленовой, стеклянной или стальной) определяется требованиями к несущей способности, условиями эксплуатации и экономической целесообразностью. Разработка и внедрение гибкого бетона и люмобетона расширяют архитектурно-конструктивные возможности и декоративный потенциал строительных систем. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию составов и снижение стоимости инновационных бетонов.

#### Литература:

1. Седых С. А. Фибробетон — перспективы современного строительства // Современные технологии в строительстве. — 2022. — № 3. — С. 45–49. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fibrobeton-perspektivy-sovremennogo-stroitelstva>

2. Фибробетон: характеристики состава, плюсы, минусы, область применения. URL: <https://peresvetcement.ru/about/articles/fibrobeton-kharakteristiki-sostava-plyusy-minusy-oblast-primeneniya/> (дата обращения: 26.03.2026).
3. Технические характеристики фибробетона // МОСБЕТОНОРГ. URL: <https://mosbetontorg.ru/informatsiya/tekhnicheskie-kharakteristiki-fibrobetona/>
4. Токарев А. С., Панин П. А., Медведев В. С. Гибкий бетон // Перспективные материалы и технологии. — 2023. — № 1. — С. 12–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibkiy-beton> (дата обращения: 26.03.2026).
5. Светящийся бетон (люмобетон) // МОНОЛИТ-ЖБИ. URL: <https://beton.monolit-gbi.ru/articles/svetyashchijsya-beton-lyumobeton/>

# АРХИТЕКТУРА, ДИЗАЙН И СТРОИТЕЛЬСТВО

## Зональное фиброармирование как способ управления структурой фибробетона

Гунин Михаил Сергеевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В статье рассмотрено зональное фиброармирование как технологический способ управления структурой фибробетона. Показано, что повышение эффективности дисперсного армирования может достигаться не только за счёт увеличения общего количества фибры, но и за счёт её рационального размещения в наиболее нагруженных зонах элемента. Особое внимание уделено формированию фибронасыщенного рабочего слоя, послойной укладке, направленной подаче смеси и контролируемому виброуплотнению. Обоснована необходимость контроля распределения фибры на стадии свежей смеси до схватывания, так как именно в этот период возможно выявить сгустки волокон, зоны с недостатком армирования и нарушения однородности структуры. Предложенный подход может использоваться как основа для разработки технологической карты, стандарта организации или программы экспериментальной проверки фибробетонных изделий.*

**Ключевые слова:** фибробетон, зональное фиброармирование, фибронасыщенный слой, распределение фибры, послойная укладка, контроль свежей смеси, трещиностойкость, технологическая карта.

### Введение

Фибробетон является композиционным строительным материалом, свойства которого определяются совместной работой бетонной матрицы и дисперсных волокон. Введение фибры позволяет повысить сопротивление трещинообразованию, ограничить раскрытие трещин и изменить характер разрушения материала с хрупкого на более постепенный. Однако эффективность такого армирования зависит не только от вида и количества волокон, но и от того, где именно они расположены в объёме изделия [1, 2, 5].

В традиционном подходе фибра рассматривается как компонент, равномерно распределяемый по всему объёму бетонной смеси. Такой способ является технологически простым и позволяет получить объёмный армирующий каркас. Однако в реальных конструкциях напряжённое состояние обычно неодинаково по сечению. Наиболее интенсивное раскрытие трещин возникает в растянутых зонах, тогда как часть объёма элемента работает менее напряжённо. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности не только равномерного, но и зонального распределения фибры [1, 2].

Актуальность зонального фиброармирования связана с необходимостью более рационального использования волокон. Простое увеличение общего содержания фибры не всегда приводит к повышению прочности и трещиностойкости. При избыточной дозировке возможно ухуд-

шение подвижности смеси, образование сгустков волокон, снижение однородности структуры и рост разброса результатов испытаний. Поэтому более перспективным является подход, при котором фибра концентрируется в рабочей зоне элемента, где её вклад в сопротивление раскрытию трещин наиболее значим [3, 6, 7].

Цель статьи — рассмотреть зональное фиброармирование как технологический способ формирования заданной структуры фибробетона и обосновать параметры контроля распределения фибры на стадии изготовления изделия.

### Сущность зонального фиброармирования

Зональное фиброармирование представляет собой способ распределения волокон, при котором фибра вводится не одинаково по всему объёму изделия, а с учётом работы отдельных зон сечения. Основная идея заключается в формировании фибронасыщенного рабочего слоя в той части элемента, где ожидаются растягивающие напряжения, раскрытие трещин или повышенные эксплуатационные воздействия [4, 5].

В обычном фибробетоне волокна распределяются по всему объёму смеси. При этом часть фибры может находиться в зонах, где её вклад в сопротивление трещинообразованию минимален. В зональной схеме армирования фибра концентрируется ближе к рабочей зоне, например у растянутой грани плитного элемента, в верхнем изно-



состояком слое пола или в зоне возможного раскрытия трещин. Такой подход позволяет повысить эффективность использования волокон без обязательного увеличения их общего расхода [1, 2].

Фибронасыщенный слой можно рассматривать как локально усиленную часть фибробетонного элемента. Его назначение состоит в том, чтобы увеличить количество волокон, пересекающих потенциальные трещины, повысить сопротивление их раскрытию и обеспечить более устойчивую работу материала после образования первых микродефектов [5].

При этом зональное армирование не означает произвольное скопление фибры в одном месте. Напротив, оно требует контролируемого распределения волокон в пределах заданной зоны. Если фибра размещена неравномерно, образует сгустки или оставляет неармированные участки, положительный эффект снижается. Поэтому зональное фиброармирование должно рассматриваться не только как конструктивная идея, но и как технологический процесс, требующий контроля [3, 6].

#### **Технологическая схема формирования фибронасыщенного слоя**

Формирование фибронасыщенного рабочего слоя возможно за счёт послойного формирования изделия. При этом бетонная смесь укладывается не одним объёмом, а последовательными слоями, различающимися содержанием фибры или направлением её распределения. Рабочий слой выполняется с повышенным содержанием волокон, а остальные слои могут иметь обычное или пониженное содержание фибры либо изготавливаться из бетонной матрицы без дополнительного армирования [3, 4].

Технологическая схема может включать следующие основные операции: подготовку бетонной смеси, дозированное введение фибры, перемешивание, послойную укладку, направленную подачу смеси, контролируемое виброуплотнение и контроль распределения волокон до схватывания [3, 4, 7].

Важным условием является дозированная подача фибры. Волокна должны поступать в смесь равномерно, без резкого сброса большого объёма материала. При неравномерной подаче повышается вероятность образования пучков и локальных скоплений. Для этого могут применяться шнековые дозаторы, виброточки, распределительные устройства или поэтапное введение волокон в смеситель [3, 6].

После введения фибры необходимо обеспечить достаточное, но не избыточное перемешивание. Недостаточное перемешивание приводит к неоднородности структуры, а чрезмерное может вызвать расслоение смеси или ухудшение её удобоукладываемости. Поэтому режим перемешивания должен назначаться с учётом вида фибры, её длины, формы, содержания и подвижности бетонной смеси [3].

Особое значение имеет подвижность смеси. В технологическом описании её целесообразно фиксировать через

осадку конуса или иной показатель удобоукладываемости. При слишком низкой подвижности волокна плохо перераспределяются в объёме и чаще образуют сгустки. При чрезмерной подвижности возникает риск расслоения смеси, нарушения однородности и смещения волокон из заданной зоны. Следовательно, задача состоит не в максимальном увеличении подвижности, а в подборе такого значения, при котором смесь сохраняет связность и позволяет равномерно распределить фибру [7].

#### **Роль послойной укладки и направленной подачи смеси**

Послойная укладка является одним из основных способов формирования заданного распределения фибры. Она позволяет разделить изделие на зоны с различным содержанием волокон и управлять их расположением по высоте сечения. Например, в плитных элементах фибронасыщенный слой может быть расположен в растянутой зоне, где ожидается раскрытие трещин при изгибе [4].

Направленная подача смеси дополнительно влияет на ориентацию волокон. При движении смеси вдоль формы часть фибры ориентируется по направлению потока. Этот эффект может использоваться для повышения доли волокон, работающих в заданном направлении. Однако направленная ориентация должна применяться осознанно, так как она может вызвать анизотропию свойств, то есть зависимость прочности и трещиностойкости от направления нагружения [4, 9].

Для формирования направленного или частично ориентированного рабочего слоя необходимо заранее задавать направление подачи смеси, толщину укладываемого слоя и режим уплотнения. Если смесь подаётся хаотично, а уплотнение выполняется без контроля, получить заданную ориентацию волокон невозможно. Поэтому направленная структура формируется не только вибрацией, а сочетанием потока смеси, геометрии формы, толщины слоя и режима виброуплотнения [4].

Возможна также схема формирования условно клиновидной зоны фиброармирования. В этом случае фибронасыщенный слой создаётся с постепенным изменением содержания или ориентации волокон по высоте сечения. Такая технология может быть полезна для элементов, в которых напряжения распределяются неравномерно. Однако подобный подход требует особенно строгого контроля толщины слоёв, направления подачи смеси и равномерности распределения фибры [4, 5].

#### **Контролируемое виброуплотнение**

Виброуплотнение необходимо для удаления воздуха, повышения плотности структуры и обеспечения контакта между цементной матрицей и волокнами. Однако при работе с фибробетоном вибрация влияет не только на уплотнение, но и на пространственное положение фибры [3, 4].

При умеренном виброуплотнении волокна могут частично ориентироваться в плоскости элемента, особенно

в тонких слоях. Это может быть полезно при формировании плитных конструкций, полов и панелей. Однако чрезмерная вибрация способна привести к расслоению смеси, смещению волокон из заданной зоны и нарушению распределения. Поэтому режим виброуплотнения должен быть ограничен по времени и интенсивности [4].

Для зонального фиброармирования важно, чтобы вибрация не разрушала уже сформированное распределение волокон. Если рабочий слой уложен с заданным содержанием фибры, последующее уплотнение должно закреплять структуру, а не перемешивать слои между собой. В связи с этим целесообразно выполнять уплотнение поэтапно: после укладки каждого слоя либо после формирования нескольких слоёв с учётом допустимого перемещения смеси [3, 4].

Таким образом, виброуплотнение следует рассматривать как элемент управления структурой. Его параметры должны фиксироваться в технологической карте вместе с толщиной слоя, направлением подачи смеси и требуемым типом распределения фибры.

### Контроль распределения фибры в свежей смеси

Одной из основных проблем фибробетона является невозможность визуально оценить фактическое распределение волокон после твердения без разрушения образца или применения специальных методов. Поэтому важное значение имеет контроль свежей смеси до схватывания. На этом этапе ещё возможно выявить нарушения распределения и скорректировать технологический процесс [6, 8, 9].

Контроль может включать отбор проб из разных участков фибронасыщенного слоя, разбор или промывку пробы, отделение волокон, определение фактического содержания фибры и выявление сгустков. Для оценки однородности необходимо сравнивать содержание волокон в разных точках изделия: в рабочей зоне, в центральной части и в слоях с меньшим содержанием фибры [6].

При контроле следует фиксировать не только среднее количество волокон, но и разброс значений. Если среднее содержание соответствует проектному, но отдельные участки имеют недостаток фибры, такая структура не может считаться надёжной. Именно локальные неармированные зоны могут стать местом раннего трещинообразования [6].

Для стальной фибры дополнительно могут применяться магнитные или индукционные методы оценки содержания и ориентации волокон. Для неметаллической фибры такие методы ограничены, поэтому большее значение приобретают отбор проб, промывка, визуальная оценка, фотофиксация и расчёт фактической массы отделённых волокон [6, 9].

Контроль свежей смеси должен быть связан с технологическим протоколом. В нём целесообразно фиксировать вид фибры, дозировку, длину волокон, осадку конуса, способ введения, продолжительность перемешивания, толщину слоя, места отбора проб, фактическое содержание фибры и наличие сгустков. Такой протокол

позволяет не только оценить качество конкретного изделия, но и сопоставить технологические параметры с результатами испытаний на прочность и трещиностойкость [6, 7].

### Практическое значение зонального фиброармирования

Практическое значение зонального фиброармирования заключается в возможности более рационально использовать фибру. Вместо равномерного повышения содержания волокон во всём объёме можно усилить ту часть элемента, где фибра действительно участвует в ограничении раскрытия трещин. Это особенно важно для конструкций, работающих на изгиб, для плитных элементов, полов, панелей и изделий с выраженной растянутой зоной [4, 5].

Такой подход может снизить риск перерасхода фибры и одновременно повысить эффективность армирования. Однако он требует более высокого уровня технологической дисциплины. Если равномерное фиброармирование допускает более простую схему приготовления смеси, то зональное армирование требует фиксации слоёв, контроля содержания фибры по зонам и оценки фактического распределения [3, 6].

Зональное фиброармирование может использоваться как основа для технологической карты. В такой карте необходимо указывать: тип матрицы, вид фибры, её длину и дозировку, критический диапазон содержания, требуемую подвижность смеси, последовательность укладки, толщину слоёв, направление подачи смеси, режим виброуплотнения, места отбора проб и критерии оценки распределения [6, 8, 9].

Для экспериментальной проверки предложенного подхода целесообразно изготавливать образцы с разными схемами армирования: равномерным распределением фибры по всему объёму, фибронасыщенным рабочим слоем и комбинированным послойным распределением. Далее необходимо сопоставлять прочность при изгибе, характер трещинообразования, ширину раскрытия трещин и разброс результатов испытаний с фактическим распределением фибры в образцах [4, 6].

Важным результатом такой проверки должно стать не только определение максимальной прочности, но и оценка надёжности структуры. Под надёжностью в данном случае понимается воспроизводимость свойств, отсутствие локальных слабых зон, стабильное сопротивление раскрытию трещин и снижение разброса результатов испытаний [6].

### Заключение

Зональное фиброармирование является перспективным способом управления структурой фибробетона. Его основная идея состоит в том, чтобы размещать фибру не только равномерно по всему объёму, но и концентрировать её в тех зонах элемента, где она наиболее эффективно работает на ограничение раскрытия трещин [3, 4, 6].

Формирование фибронасыщенного рабочего слоя позволяет повысить долю волокон, участвующих в восприятии растягивающих напряжений. Однако положительный эффект возможен только при контролируемом распределении фибры. Локальные сгустки, неармированные зоны и нарушение однородности могут снизить эффективность армирования даже при достаточном общем содержании волокон [4, 5].

Основными технологическими приёмами формирования зонального распределения являются дозированное введение фибры, оптимальное перемешивание, регулирование подвижности смеси, послойная укладка, направленная подача и контролируемое виброуплотнение. Эти операции должны рассматриваться как единая технологическая система, а не как отдельные независимые этапы [3, 4, 7].

#### Литература:

1. Рыбьев, И. А. Строительные материалы на основе дисперсно-армированных бетонов / И. А. Рыбьев. — Москва: Высшая школа, 2004. — 312 с.
2. Пухаренко, Ю. В. Фибробетон: свойства и перспективы применения / Ю. В. Пухаренко // Строительные материалы. — 2010. — № 5. — С. 12–15.
3. Дураченко, А. В. Повышение эффективности фибробетонов за счет применения композиционных вяжущих / А. В. Дураченко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — № 9–3. — С. 335–337. — URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10246> (дата обращения: 09.06.2026). — Текст: электронный.
4. Маилян, Л. Р. Программа и результаты экспериментальных исследований характеристик фибробетона, изготовленного по механической технологии создания агрегированного ориентированного фибрового армирования / Л. Р. Маилян, П. А. Шилов, А. А. Шилов // Строительство и архитектура. — 2023. — Т. 11, № 1. — С. 1–1. — DOI: 10.29039/2308–0191–2022–11–1–1–1. — URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/57273/view> (дата обращения: 09.06.2026). — Текст: электронный.
5. Brandt, A. M. Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering / A. M. Brandt // Composite Structures. — 2008. — Vol. 86, № 1–3. — P. 3–9. — DOI: 10.1016/j.compstruct.2008.03.006.
6. ГОСТ Р 59535–2021. Бетоны тяжелые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации. — Москва: Стандартинформ, 2021.
7. ГОСТ 7473–2010. Смеси бетонные. Технические условия: межгосударственный стандарт. — Москва: Стандартинформ, 2011.
8. СП 297.1325800.2017. Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования: свод правил: дата введения 2017–10–18. — Москва: Минстрой России, 2017.
9. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования: свод правил: дата введения 2018–06–12. — Москва: Минстрой России, 2018.

Контроль распределения фибры целесообразно выполнять на стадии свежей смеси до схватывания. Для этого необходимо отбирать пробы из разных зон изделия, определять фактическое содержание волокон, выявлять сгустки и фиксировать результаты в технологическом протоколе. Такой подход позволяет связать параметры изготовления с фактической структурой материала и результатами последующих испытаний [6, 7].

Предложенная схема может быть использована как основа для разработки технологической карты, стандарта организации или программы экспериментальной проверки. Дальнейшие исследования должны быть направлены на сопоставление равномерного и зонального распределения фибры по показателям прочности при изгибе, трещиностойкости, ширины раскрытия трещин и производительности результатов [6, 8, 9].

## Архитектурные проекты адаптивных фасадов и многофункциональных комплексов

Короткова Александра Андреевна, студент;

Рябова Ирина Александровна, студент

Научный руководитель: Бареева Эльвира Рустамовна, кандидат педагогических наук, доцент

Астраханский государственный технический университет

Начиная с XX века, архитекторы искали способы добиться подвижности здания для решения функциональных и социальных задач, так как статичная архитек-

тура теряла свою актуальность, и нужно было продлевать срок службы сооружений. Повышение уровня комфортности и доступности здания является одной из важнейших

задач современного времени. Отличительной чертой 21 века является возрастающая динамичность жизни общества, связанная с высокими темпами развития новых технологий, расширением сферы деятельности людей, усилением миграции, подвижности населения. В связи с вышеперечисленными проблемами мы понимаем, что устаревшие конструкции зданий не подходят под современные нужды граждан, а также учитывая динамичность развития общества и силуэтов улиц, прошлые конструкции выпадают из гармоничного развития архитектуры 21 века. Современные архитекторы нашли современный подход к решению существующих проблем нашего общества и пришли к выводу, что необходимо изменить конструктивные решения, введя адаптивные фасады.

Адаптивность в архитектуре — это способность архитектурной среды меняться и подстраиваться под различные нужды людей или изменения внешних условий. Такая среда может трансформироваться, перестраиваться и изменять свои пространственные характеристики в зависимости от запросов пользователей и внешних условий, таких как климат и нагрузки [1].

Благодаря современным технологиям и модульным системам даже статичные объекты получают возможность меняться, обеспечивать устойчивость, энергоэффективность и долгосрочную применимость объектов, в условиях нестабильной окружающей среды и быстроменяющегося общества, что существенно увеличивает функциональность и потенциал архитектуры [2].

Адаптивная архитектура становится всё более востребованной в наше время. Она экономит до 40 % энергии, за счёт пассивного контроля и повышает комфорт без бесконечного сноса зданий. Чаще всего адаптивная архитектура применяется в таких сферах как: климатические фасады и «умные окна», трансформируемые жилые помещения, конференц-залах, театрах, переговорных, больницах и лабораториях, в аварийном и временном жилье, транспортной инфраструктуре, а также в «зелёных» фасадах и вертикальных формах. Если про климатические фасады и «умные» окна мы уже сказали, то в остальном нужно уточнение [1].

Трансформируемые жилые помещения. В эту категорию входят стены-трансформеры, откидные кровати, раздвижные перегородки. Одна комната днём — гостиная, а ночью — спальня. Такой подход популярен для домов с малой площадью, а также с квартирами — студиями.

В конференц-залах, театрах и переговорных стали популярными раздвижные трибуны-стены, звукопоглощающие панели. Таким образом, зал может трансформироваться из пространства на 50 человек, в помещение для пленума на 300 человек.

Больницы и лаборатории стали более роботизированными, с адаптивной вентиляцией с HEPA-фильтрами. В случае эпидемии, одну палату легко переоборудуют в изолятор с отдельными шлюзами.

Адаптивное и временное жильё. Появились надувные и телескопические модули, в сложенном виде проходящие

в грузовик, а на месте разворачивающиеся в жилую площадь с кухней, а также с санузлом. Одним из ярких примеров такого жилья является каркасное укрытие от UNHCR, с адаптивной солнцезащитной крышей.

Транспортная инфраструктура становится более удобной, для проведения вылетов. Появились подвижные «рукава» выходов, меняющие уровень в зависимости от типа самолёта. Улучшается система динамического освещения перронов. Освещение подстраивается под графики рейсов, направляя пассажиров.

В «зелёных» зонах появились автоматические системы полива с датчиками влажности, а также подвижные кашпо, самостоятельно поворачивающиеся в сторону солнца [2].

### Принцип работы адаптивных фасадов

В условиях необходимого требования к энергоэффективности и комфортного климата, возникла потребность в фасадах, которые могут изменять свою форму, цвет или положение, обеспечивая защиту от прямых солнечных лучей, и одновременно рационализировать поступление естественного освещения. Так и появились динамические фасады, управляемые автоматически, на основе данных, полученных от пользователя, о температуре, времени суток, света.

Хромогенные фасады выполняют функции блокировки прямого солнечного излучения, теплопроводности и регулирования светопропускаемости, за счёт чего создают комфортную световую среду в помещении. Наряду с функциональными качествами, улучшаются эргономические, экологические и эстетические свойства фасадных конструкций здания.

Фасадные солнечные панели являются современным и инновационным решением. Фасады с фотоэлектрическими панелями преобразуют солнечную энергию в электричество. Биоклиматические фасады предусматривают внешнее озеленение, благодаря чему улучшается микроклимат. Светоконцентрирующие фасады собирают и перенаправляют солнечный свет, для естественного освещения, внутри помещения. Двустенные фасады состоят из двух оболочек, между которыми циркулирует воздух, что позволяет эффективно использовать солнечную энергию для отопления или вентиляции [3].

Активные вентилируемые фасады создают условия более эффективной теплоизоляции помещения из-за наличия пространства с воздухом между внешним слоем и стеной, способствуют снижению риска появления тепловых мостов [4].

Сенсорный фасад — это инновационная система, которая автоматически реагирует на изменения внешних условий, таких как уровень освещённости, температура, влажность или загрязнение воздуха. Такие фасады не только выполняют эстетическую и защитную роли, но и становятся активными участниками управления микроклиматом здания, способствуя повышению энергоэф-



фективности и комфорту для пользователей. Сенсорные фасады оборудованы интеллектуальными элементами, которые способны изменять свои характеристики, такие как конфигурацию, цвет, прозрачность или теплопередачу, в ответ на внешние воздействия. Для этого они используют встроенные датчики, которые собирают информацию о состоянии окружающей среды, а управляющие системы анализируют эти данные и корректируют параметры фасада в реальном времени [5].

Но, несмотря на все эти нововведения, у адаптивной архитектуры также есть и минусы. К сожалению, это очень дорогостоящая механика, сложная для ремонта и реконструкции, зависящая от электричества и софта, высокое электропотребление самого механизма, небезопасность во время экстренных ситуаций, а также психологический дискомфорт для человека, обусловленный множеством раздражителей. Но несмотря на эти минусы, адаптивная архитектура прекрасно подходит для мест, с повышенной динамикой потоков, климата или функций [2].

Ярким примером применения адаптивных фасадов является здание SPU Campus Kolding (Университет Южной Дании). Фасад кампуса состоит примерно из 1600 перфорированных алюминиевых панелей, которые работают как автоматические жалюзи. Их положение меняется в зависимости от солнечного света и температуры, что позволяет оптимально регулировать естественное освещение и тепловой режим внутри здания. Управление осуществляется с помощью датчиков освещённости и тепла: система автоматически подстраивает панели, чтобы поддерживать комфортный микроклимат и снижать потребность в искусственном свете. Даже в закрытом состоянии панели пропускают достаточно света. Фасад не только функционален, но и выразителен визуально — в движении он создаёт динамичный рисунок, а сами элементы являются частью художественного замысла. Такое решение делает

здание энергоэффективным, экономит ресурсы на освещении и кондиционировании, а также обеспечивает комфортную среду для студентов и преподавателей.

Также символами современной архитектуры считаются Башни Аль-Бахар (Al Bahar Towers) в Абу-Даби, ОАЭ. Фасад зданий выполнен из подвижных треугольных панелей, которые автоматически открываются или закрываются в зависимости от положения солнца. Такая система защищает башни от перегрева и позволяет сократить расходы на кондиционирование до 50 %. Внешне фасад напоминает огромные соты или традиционные арабские решётки машрабия.

Павильон «Мегафон» в Сочи, Россия. Фасад павильона состоит из 11 000 телескопических поршней, формирующих на поверхности здания динамичные трёхмерные портреты. Во время Олимпиады на фасаде транслировались лица болельщиков, а их выражения менялись в режиме реального времени.

Media-ICT в Барселоне, Испания. Здание покрыто инновационной мембраной из ETFE, которая может надуваться и сдуваться, регулируя внутренний микроклимат и экономя до 20 % энергии. В летний период мембрана выполняет функцию солнцезащитного экрана, блокируя до 85 % тепла и ультрафиолетовых лучей.

Адаптивная архитектура становится всё популярнее и определяет будущее градостроительства. Благодаря модульным конструкциям и заменяемым элементам здания, её можно легко и быстро трансформировать под новые задачи: менять назначение помещений или увеличивать их площадь без значительных затрат. Такой подход открывает перспективы для создания гибких, функциональных и устойчивых объектов, которые делают жизнь и работу людей комфортнее, а также способствуют рациональному использованию ресурсов — что особенно актуально для современного мира [6].

#### Литература:

1. А. В. Пономарёв «Адаптивная архитектура- основные направления развития» //Научная статья URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnaya-arhitektura-osnovnye-napravleniya-razvitiya/viewer> (дата обращения 11.04.2026)
2. Рогожина Т. Г. Адаптивная архитектура / Т. Г. Рогожина // Наука — образование — производство: Опыт и перспективы развития: сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Е. Г. Зудова (8–9 февраля 2018 г.): в 2-х т. — Т. 2: Автоматизация, мехатроника и ИТ. Гуманитарные науки. Строительство и архитектура. — Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2018. — С. 258–264. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/59200> (дата обращения 11.04.2026)
3. Е. К. Калинин «Классификация адаптивных фасадных систем и перспективы их применения» //Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 4
4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-adaptivnyh-fasadnyh-sistem-i-perspektivy-ih-primeneniya/viewer> (дата обращения 13.04.2026)
5. Адаптивная архитектура: Проектирование зданий, которые могут изменяться и адаптироваться к различным условиям и потребностям. [Электронный ресурс]: [сайт]. - URL <https://marmur.studio/blog/adaptivnaya-arhitektura-proektirovanie-zdanij-kotorye-mogut-izmenyatsya-i-adaptirovatsya-k-razlichnym-usloviyam-i-potrebnostyam/> (дата обращения 11.04.2026)
6. Преимущества и принцип работы вентилируемого фасада. [Электронный ресурс]: [сайт]. — URL <https://www.rontfasad.ru/blog/preimushchestva-i-printsip-raboty-ventiliruемого-fasada/> (дата обращения 15.04.2026)



7. И. А. Оденбах, Р. С. Закируллин. Оптимизация естественного освещения и инсоляции зданий с криволинейными фасадами //Строительные науки. URL <https://aac.raasn.ru/index.php/aac/article/view/312/252>

## **К вопросу о медовых сотах в Нью-Йорке: архитектурный замысел и инженерная реализация проекта Vessel**

Магомедкеримов Магомед Арипович, студент

Научный руководитель: Бареева Эльвира Рустамовна, кандидат педагогических наук, доцент  
Астраханский государственный технический университет

**Ф**ормирование качественных общественных пространств является одной из главных задач современной архитектуры и градостроительства. В условиях высокой плотности застройки городов особое значение приобретают объекты, которые способны выполнять не только функциональную, но и визуально-выразительную роль, формируя новые точки притяжения в городской среде.

Одним из наиболее обсуждаемых примеров подобной архитектуры стал объект Vessel, расположенный в западной части Манхэттена в составе крупного градостроительного проекта Hudson Yards. Сооружение было спроектировано британским архитектором Томасом Хезервиком. С момента открытия сооружение стало важным элементом общественного пространства нового делового района [2].

### **Роль объекта в структуре городской среды**

Появление рассматриваемого сооружения связано с развитием района Hudson Yards. Данная территория ранее использовалась под железнодорожную инфраструктуру, однако в результате масштабной реконструкции была преобразована в современное городское пространство.

Сегодня Hudson Yards представляет собой многофункциональный комплекс, где сочетаются деловая активность, жилая застройка, торговля и зоны отдыха.

На основе этого возникла необходимость создания архитектурного элемента, который мог бы выполнять роль композиционного центра. Именно такую функцию и получил объект Vessel, став своеобразной точкой притяжения и визуальным ориентиром.

С точки зрения композиции сооружение представляет собой трёхмерную систему лестничных маршей, объединённых в единую пространственную структуру. Форма объекта напоминает перевёрнутый сосуд или фрагмент кристаллической решётки. Благодаря повторению элементов создаётся визуальный эффект ячеистой структуры, который часто сравнивают с пчелиными сотами [6].

### **Особенности архитектурного решения**

Главная особенность данного сооружения заключается в отсутствии традиционной функции здания. Основной акцент сделан на организации движения и визуального

восприятия. Люди могут свободно перемещаться по зданию, при этом имея возможность увидеть друг друга со всех сторон. Таким образом формируется динамичное пространство, в котором движение человека становится частью композиции.

Все сооружение включает большое количество лестничных пролетов, промежуточных площадок и ступеней, а само здание достигает примерно 45 метров. За счет повторяемости элементов создается сложная система перемещения, которая постепенно расширяется к верхней части. Все это создает эффект схожести с природными объектами, а именно пчелиными сотами [3, 4, 5].

### **Конструктивные особенности и технологии сборки**

С инженерной точки зрения объект представляет собой пространственную металлическую конструкцию, где основой служит каркас из стальных элементов. Принцип проектирования основан на модульности: отдельные элементы повторяются и образуют единую систему, что облегчает как проектирование, так и сборку.

Каркас сооружения включает центральное ядро и радиально расположенные элементы, обеспечивающие пространственную жёсткость всей структуры. Нагрузки так же распределяются через лестничные секции, которые одновременно выполняют и несущую функцию.

Значительная часть элементов изготавливалась индивидуально из-за своей сложной формы. Это потребовало применения современных методов цифрового проектирования. Использование параметрического моделирования и технологий BIM позволило точно согласовать геометрию всех узлов и элементов.

Монтаж осуществлялся поэтапно с использованием крупных сборочных блоков. Они доставлялись на площадку в готовом виде и устанавливались с помощью специализированной техники. Подобный способ сборки позволил ускорить строительство и обеспечить точность соединений.

Внешние поверхности сооружения облицованы металлическими панелями с зеркальным покрытием медного оттенка. Полированная поверхность отражает окружающую городскую среду и усиливает визуальный эффект [1, 7].

### Эксплуатация и общественное восприятие

После открытия Vessel быстро стал одной из заметных достопримечательностей Нью-Йорка. Сооружение активно используется не только туристами, но и жителями города.

В процессе эксплуатации работа получила неоднозначные отзывы. С одной стороны, отмечается оригинальность архитектурного решения и его выразительность. С другой — звучит критика, связанная с отсутствием практической функции и спорным эстетическим восприятием. Помимо этого возникали вопросы, связанные с безопасностью людей, что потребовало временного ограничения доступа и последующей корректировки здания.

Данный опыт показывает, что даже яркие архитектурные решения требуют внимания к безопасности и удобству посетителей при проектировании [2, 4].

### Заключение

Сооружение Vessel позволяет выделить несколько характерных особенностей современной архитектуры и градостроительства. Оно объединяет эстетическую выразительность и инженерную точность, демонстрируя

гармоничное соотношение формы и конструкции. Структура сооружения, построенная на повторении модульных элементов, облегчает производство и обеспечивает точность сборки, а использование цифровых технологий проектирования позволяет контролировать сложную геометрию и инженерные работы [6].

Такой архитектурный прием эффективно применяют для объектов с интерактивной функцией или большим потоком посетителей: смотровые площадки, галереи и торговые центры, где важно сочетать визуальную выразительность и структурную надёжность. Однако в зданиях с ограниченным пространством, узкими маршрутами или строго утилитарным назначением, например, склады, лаборатории, офисные помещения без публичного доступа, повторяющиеся модули могут оказаться избыточными или неудобными, создавая сложность в эксплуатации и излишнюю визуальную перегруженность.

Таким образом, проект Vessel служит примером того, как архитектурная идея, инженерные решения и учет общественных предпочтений взаимно дополняют друг друга, формируя новые типы построек в условиях плотной городской застройки, и демонстрируют возможности и ограничения модульного приема в современной архитектуре.

### Литература:

1. Как создавалась смотровая площадка Vessel в виде пчелиных сот // Архитектурный портал. URL: <https://xn—b1agapfwapgl.xn—p1ai/kak-sozdavalas-smotrovaja-ploshhadka-vessel-v-vide-pchelinyh-sot/> (дата обращения: 03.03.2026).
2. Vessel в Нью-Йорке: обзор и факты // NewYorkGid. URL: <https://www.newyorkgid.com/new-york-blog/vessel> (дата обращения: 03.03.2026).
3. Томас Хезервик проектирует смотровую площадку Vessel для Hudson Yards // Unusual Design. URL: <https://unusual-design.ru/2016/09/15/tomas-hezervik-proektiruet-smotrovuyu-ploshhadku-vessel-dlya-hudson-yards-nyu-york/> (дата обращения: 03.03.2026).
4. Official Website of Vessel NYC. URL: <https://www.vesselnyc.com/> (дата обращения: 03.03.2026).
5. Vessel / Heatherwick Studio // Archello. URL: <https://archello.com/de/project/vessel> (дата обращения: 03.03.2026).
6. Heatherwick Studio's Vessel at Hudson Yards // ArchDaily. URL: <https://www.archdaily.com/795336/heatherwick-studios-vessel-will-take-the-form-of-an-endless-stairway-at-new-yorks-hudson-yards> (дата обращения: 03.03.2026).
7. Vessel — Project description // Heatherwick Studio. URL: <https://heatherwick.com/project/vessel/> (дата обращения: 03.03.2026).

## Факторы и ресурсные аспекты обеспечения организационно-технологической надёжности строительного производства

Романенкова Анастасия Сергеевна, студент магистратуры  
Волгоградский государственный технический университет

*В статье рассматриваются факторы, влияющие на организационно-технологическую надёжность строительного производства, и ресурсные аспекты её обеспечения. Цель исследования — систематизация факторов ОТН, выявление роли ресурсного обеспечения и обоснование подхода к количественной оценке приоритетности факторов. Методологическую базу составляют методы системного анализа, теории вероятностей, экспертного оценивания и априорного ранжирования. На основе анализа источников предложена классификация факторов по шести группам. Обоснована применимость метода априорного ранжирования с расчётом коэффициента конкордации Кендалла и критерия Пирсона.*

**Ключевые слова:** организационно-технологическая надёжность, строительное производство, факторы влияния, ресурсное обеспечение, априорное ранжирование, экспертные оценки, коэффициент конкордации.

Современное строительное производство характеризуется высокой степенью неопределённости, обусловленной воздействием множества случайных факторов, которые могут приводить к нарушению сроков, увеличению стоимости и снижению качества возводимых объектов. В этой связи проблема обеспечения организационно-технологической надёжности (ОТН) строительства приобретает особую значимость как для теоретических исследований, так и для практической деятельности строительных организаций.

Организационно-технологическая надёжность в отличие от надёжности строительных конструкций и систем является показателем надёжности строительного производства как критерия надёжности конечных результатов [8, с. 2]. Организационная надёжность предусматривает принятие решений с заданной вероятностью, обеспечивающих получение запланированного результата функционирования строительного потока в условиях случайных воздействий, тогда как надёжность технологических решений должна обеспечивать бесперебойное функционирование строительных процессов [8, с. 2–3].

Актуальность темы усугубляется современными внешними вызовами, включая последствия пандемии коронавирусной инфекции, санкционную политику ряда государств, волатильность валют и рост цен на строительные материалы. Как указывают Н. П. Кузьмич и В. В. Бурчик, в строительном секторе России повысилась значимость выработки адаптивного поведения предприятий строительной отрасли [3, с. 435]. Ресурсная обеспеченность является главным залогом обеспечения организационно-технологической надёжности строительства, которая не может быть обеспечена в виде достижения заданного результата при строительстве в связи с воздействием случайных возмущений, не учтённых заранее [6, с. 2].

Важнейшим понятием в теории ОТН является понятие отказа. Полное или частичное прекращение функционирования строительного потока или процесса, вызывающее отклонение от заданных параметров, квалифицируется как технологический отказ [8, с. 3]. Причины отказов подразделяются на технические (выход из строя машин, низкое качество материалов), технологические (нарушение регламентов, брак, непредвиденные работы), организационные (срыв сроков субподрядчиками, перерывы в ресурсообеспечении), управленческие (ошибки планирования, некомпетентность) и климатические (погодные условия, стихийные бедствия) [8, с. 3–4].

Наиболее полная классификация факторов, влияющих на ОТН, предложена П. Б. Жавнеровым и А. В. Гинзбургом, которые выделяют шесть групп: технические, технологические, организационные, управленческие, социальные и климатические [2, с. 203]. Каждая группа содержит детализированный перечень конкретных фак-

торов. Дополнением к указанной классификации служат факторы, выделенные Н. П. Кузьмич и В. В. Бурчик, которые акцентируют внимание на экологических факторах, связанных с образованием строительных отходов и необходимостью соблюдения природоохранного законодательства, а также на факторах, обусловленных пандемией и санкционными ограничениями [3, с. 436–437].

Для монолитного строительства, являющегося приоритетным способом возведения зданий и сооружений, характерны специфические факторы отказов: появление непредвиденных работ в результате недостаточного уровня диагностики элементов здания, снижение интенсивности работ в стеснённых условиях, несвоевременное обеспечение технической документацией, отсутствие специальных машин и механизмов [8, с. 4].

Особого внимания заслуживают ресурсные факторы. А. А. Руденко обосновывает, что материальные ресурсы вследствие высокого удельного веса в структуре прямых затрат, составляющего примерно 60 %, определяющим образом влияют не только на себестоимость строительства, но и на стоимость возводимого жилья [6, с. 2]. Практика обеспечения строительства материально-техническими ресурсами привела к обособленности задач снабжения и использования ресурсов, вследствие чего в строительной отрасли отсутствует комплексная система управления материальными ресурсами [6, с. 3].

А. А. Руденко приводит эмпирические данные, иллюстрирующие масштаб проблемы. На основании анализа отчётности строительных организаций выявлены существенные отклонения от предусмотренных договорами сроков поставки, видов и объёмов материалов [6, с. 4]. Коэффициент надёжности поставщиков в разные годы демонстрирует различную величину, что свидетельствует о нестабильности системы ресурсного обеспечения [6, с. 4–5]. Своевременность поставок ресурсов напрямую влияет на ОТН, поскольку отсутствие материалов приводит к срыву сроков строительства [6, с. 5].

Для обеспечения бесперебойности и ритмичности возведения объекта требуется создание на строительной площадке минимальных, но достаточных запасов. Нормы запасов ресурсов должны определяться принятым методом строительного производства, типом используемых средств механизации и объёмами работ [6, с. 5]. Математическая модель ресурсных ограничений выражается уравнением:  $\sum x_j \alpha_j = N \Delta C$ , где  $\alpha_j$  — стоимость единицы работы  $j$ -го вида,  $x_j$  — объём производства по  $j$ -му процессу,  $N$  — количество ресурсов,  $\Delta C$  — стоимость ресурсов [6, с. 6].

А. А. Аль-Мсари и А. А. Руденко предлагают расширенную классификацию ресурсных факторов, выделяя пять видов ресурсов: трудовые, информационные, материальные, финансовые и интеллектуальные [1, с. 57]. Каждый вид характеризуется совокупностью значимых

факторов, подлежащих учёту при моделировании ОТН. Трудовые ресурсы включают квалификацию персонала, информационные — качество документации и применение BIM-технологий, материальные — своевременность поставок, финансовые — ликвидность организации, интеллектуальные — компетенции управленческого персонала [1, с. 58–59].

Для количественной оценки приоритетности факторов, влияющих на ОТН, целесообразно применение метода априорного ранжирования. Алгоритм метода включает шесть этапов: постановка задачи и формирование перечня факторов; формирование экспертной группы; проведение экспертного опроса; первичная обработка результатов; проверка согласованности мнений экспертов; построение априорной диаграммы рангов и интерпретация результатов [9, с. 2–3].

Проверка согласованности мнений экспертов осуществляется с помощью коэффициента конкордации Кендалла:  $W = 12S / [m^2(k^3 - k)]$ , где  $m$  — число экспертов,  $k$  — число факторов,  $S$  — сумма квадратов отклонений [9, с. 3]. Значимость коэффициента проверяется по критерию Пирсона:  $\chi^2 = m(k-1)W$ . Если расчётное значение  $\chi^2$  превышает табличное при числе степеней свободы  $v = k-1$ , гипотеза о согласованности мнений экспертов принимается [9, с. 4].

Пример практической реализации метода представлен в работе А. В. Радкевича и А. Н. Нетесы по ранжированию факторов соединения арматуры в монолитном строительстве [5, с. 2]. При опросе 14 экспертов и ранжировании 14 факторов получен коэффициент конкордации  $W = 0,26$ , расчётное значение критерия Пирсона  $\chi^2 = 47,24$  превысило табличное значение 22,36, что подтвердило статистическую значимость результатов [5, с. 3–4]. Наиболее значимыми оказались факторы времени: возможность монтажа каркасов, время соединения арматуры и длина каркаса [5, с. 4].

Повышение ОТН может осуществляться двумя путями: снижением величины дестабилизирующих факторов либо разработкой систем, надёжно функционирующих в условиях их воздействия [8, с. 5]. Надёжность системы повышается с использованием принципа избыточности, который реализуется в нескольких видах: структурная избыточность (резервирование), информационная избыточность (полнота данных), временная избыточность (дополнительное время на принятие решений), игровая избыточность (перестройка структуры системы в зависимости от ситуации) [8, с. 5–6].

В сфере ресурсного обеспечения повышение надёжности связывается с формированием единой системы управления материальными ресурсами. А. А. Руденко предлагает разграничивать понятия «логистика», «снабжение» и «материально-техническое обеспечение» как взаимодополняющие подсистемы [6, с. 6–7]. Логистика охватывает физическое перемещение ресурсов, снабжение — функцию обеспечения движения производственных факторов, МТО — обеспечение и использование только материальных ресурсов [6, с. 7]. Целью управления материальными ресурсами является повышение ОТН за счёт регулирования возникающих возмущений [6, с. 8].

Перспективным направлением повышения ОТН является внедрение BIM-технологий. Как отмечают Н. С. Макарушин с соавторами, применение BIM-технологий позволяет регулировать ход работ, оценивать использованные материалы и рассчитывать будущие показатели [4, с. 15]. По данным зарубежного опыта, BIM-технологии позволяют на 40 % снижать ошибки проектирования [4, с. 16]. Внедрение BIM-технологий становится всё более популярным на всех этапах жизненного цикла зданий и может рассматриваться как эффективный инструмент повышения организационно-технологической надёжности [7, с. 102].

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие выводы. Организационно-технологическая надёжность строительного производства является комплексной характеристикой, объединяющей организационные, технологические и экономические аспекты [8, с. 5]. Факторы, влияющие на ОТН, систематизированы в шесть групп: технические, технологические, организационные, управленческие, ресурсные и внешние [2, с. 204; 3, с. 436; 1, с. 58]. Ресурсное обеспечение играет ключевую роль: доля материальных ресурсов в структуре прямых затрат достигает 60 %, а выявленные отклонения в поставках непосредственно влияют на непрерывность строительных процессов [6, с. 2; 6, с. 4]. Для количественной оценки приоритетности факторов обоснована применимость метода априорного ранжирования с расчётом коэффициента конкордации и критерия Пирсона [9, с. 3–4; 5, с. 3]. Направления дальнейших исследований включают проведение экспертного опроса для ранжирования факторов ОТН, разработку программного модуля для автоматизации расчётов и внедрение методики в практическую деятельность строительных организаций.

#### Литература:

1. Аль-Мсари, А. А. Р. А. Моделирование организационно-технологической надёжности комплексной застройки с учетом рисков ресурсообеспечения / А. А. Р. А. Аль-Мсари, А. А. Руденко // Ученые заметки ТОГУ. — 2024. — Т. 15, № 1. — С. 55–61.
2. Жавнеров, П. Б. Повышение организационно-технологической надёжности строительства за счет структурных мероприятий / П. Б. Жавнеров, А. В. Гинзбург // Вестник МГСУ. — 2013. — № 6. — С. 201–208.
3. Кузьмич, Н. П. Факторы обеспечения качества и организационно-технологической надёжности строительного производства / Н. П. Кузьмич, В. В. Бурчик // Безопасный и комфортный город: материалы VI Международной научно-практической конференции. — 2023. — С. 434–438.



4. Макрушин, Н. С. Совершенствование организационно-технологической надежности и экологичности строительства на основе BIM-технологий / Н. С. Макрушин, Н. А. Разливаев, В. А. Панин, А. В. Никифоров, Д. В. Тарасов // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 4. — С. 12–18.
5. Радкевич, А. В. Определение и ранжирование организационно-технологических факторов, обуславливающих рациональные решения соединения арматуры / А. В. Радкевич, А. Н. Нетеса. — 2017. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 10.06.2026).
6. Руденко, А. А. Обеспечение строительства ресурсами как элемент его организационно-технологической надежности / А. А. Руденко. — 2023. — 10 с.
7. Сапрыкина, Т. К. Повышение организационно-технологической надежности в строительстве: учебное пособие / Т. К. Сапрыкина, В. А. Гурьева. — 2025. — 180 с.
8. Сират, Д. Analysis and evaluation of improving the organizational and technological reliability of the construction of facilities / Д. Сират. — 2023. — 6 с.
9. Таразанова, Н. Э. Априорное ранжирование факторов, влияющих на сопротивление движению судна / Н. Э. Таразанова. — 2017. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 10.06.2026).

## Исследование взаимосвязи параметров пористой структуры и морозостойкости бетона на различных сроках твердения

Семёнов Максим Сергеевич, студент магистратуры  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*В статье автор исследует влияние пористости бетона на его долговечность и морозостойкость на разных сроках твердения.*

**Ключевые слова:** бетон, пористость, морозостойкость.

### Метод определения кинетики водопоглощения

Метод определения кинетики водопоглощения применялся для оценки особенностей формирования пористой структуры бетона на различных сроках твердения и анализа её влияния на морозостойкость материала. Данный метод основан на исследовании характера поглощения воды бетонным образцом во времени и позволяет косвенно оценить параметры открытой капиллярной пористости, степень связности порового пространства, а также интенсивность капиллярного массопереноса.

Методика испытаний основана на положениях, предложенных А. Е. Шейкиным [1], согласно которым процесс насыщения бетона водой рассматривается как временная характеристика проникновения жидкости в капиллярно-пористую структуру цементного камня. Анализ кинетики водопоглощения позволяет определить не только предельное водонасыщение материала, но и установить закономерности изменения скорости заполнения порового пространства, отражающие особенности внутренней структуры бетона. Сущность метода заключается в последовательном измерении массы образца в процессе его насыщения водой через заданные интервалы времени. Изменение массы образца характеризует интенсивность водопоглощения и позволяет судить о развитии открытой пористости, доступной для проникновения воды.

Перед проведением испытаний образцы предварительно высушивали до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С. После завершения сушки образцы охлаждали до комнатной температуры в условиях, исключающих дополнительное увлажнение. После чего определяли их начальную массу.

Испытания проводились путем полного погружения образцов в воду при постоянной температуре. Взвешивание осуществлялось через строго фиксированные интервалы времени: 0; 0,25; 1; 24 часа. Перед каждым взвешиванием поверхность образца освобождалась от поверхностной влаги.

Величина водопоглощения в каждый момент времени определялась по зависимости:

$$W_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} * 100 \% \quad (1)$$

где  $W_t$  — водопоглощение в момент времени  $t$ , %;  $m_t$  — масса образца в момент времени  $t$ , г;  $m_0$  — масса сухого образца, г;

Для анализа кинетики водопоглощения строилась зависимость водопоглощения от времени насыщения.

На основании полученных кривых оценивали начальную интенсивность водопоглощения, скорость насыщения, характер изменения поглощения во времени и момент достижения условного насыщения.



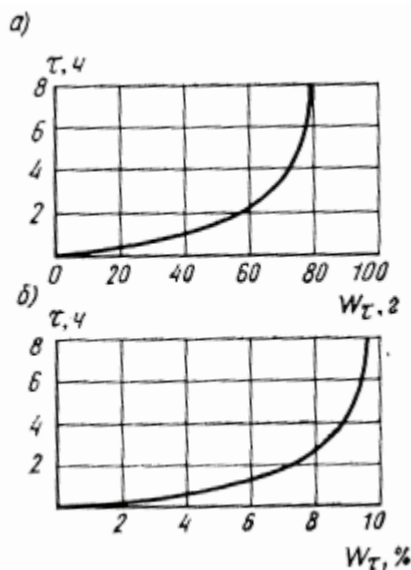


Рис. 1. Диаграмма записи приращения массы образцов при водопоглощении

Согласно подходу А. Е. Шейкина, характер кинетической кривой отражает состояние капиллярно-поровой структуры материала. Высокая начальная скорость водопоглощения свидетельствует о наличии развитой системы сообщающихся капиллярных пор и высокой степени их связности. Замедление процесса насыщения указывает на постепенное заполнение мелких пор и ограничение дальнейшего движения влаги в структуре цементного камня. Особое значение данный метод приобретает при исследовании бетона на различных сроках твердения, поскольку позволяет проследить изменение капиллярной структуры во времени. На ранних сроках твердения, как правило, наблюдается более интенсивное водопоглощение вследствие развитой системы открытых капиллярных каналов. По мере развития гидратационных процессов происходит уплотнение структуры цементного камня, снижение доли открытой пористости и уменьшение скорости насыщения.

В рамках настоящего исследования результаты определения кинетики водопоглощения использовались для количественной оценки изменения пористой структуры бетона на различных сроках твердения и последующего сопоставления с результатами испытаний на морозостойкость. Это позволило установить взаимосвязь между параметрами водонасыщения, особенностями порового пространства и устойчивостью материала к циклическому замораживанию и оттаиванию.

Результаты расчета по методу кинетики водопоглощения образцов

Согласно методике расчета, по результатам водопоглощения определяют следующие характеристики:

Водопоглощение по массе вычисляют по формуле:

$$W_B = \frac{m_{24} - m_0}{m_0} * 100 \quad (2)$$

где  $W_B$  водопоглощение по массе, %;  $m_0$  масса сухого образца, г;  $m_{24}$  масса водонасыщенного образца в воздухе, г.

Объемную плотность образцов вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_0 * \rho_{ж}}{m_{24} - m_{24}^B} * 100 \quad (3)$$

где  $\rho_0$  — объемная плотность образцов, кг/м<sup>3</sup>;  $m_0$  — масса сухого образца, г;  $m_{24}$  — масса водонасыщенного образца в воздухе, г;  $m_{24}^B$  — масса водонасыщенного образца в воде, г;  $\rho_{ж}$  — плотность жидкости, в которой происходило поглощение, кг/м<sup>3</sup>.

Объемное водопоглощение определяется по формуле:

$$W_0 = \frac{m_{24} - m_0}{m_{24} - m_{24}^B} * 100 \quad (4)$$

где  $W_0$  — объемное водопоглощение, %;  $m_0$  — масса сухого образца, г;  $m_{24}$  — масса водонасыщенного образца в воздухе, г;  $m_{24}^B$  — масса водонасыщенного образца в воде, г.

Равновесное водопоглощение определяется по формуле:

$$W_p = \frac{m_{24} - m_0}{m_0} * 100 \quad (5)$$

где  $W_p$  — равновесное водопоглощение, %;  $m_0$  — масса сухого образца, г;  $m_{24}$  — масса водонасыщенного образца в воздухе, г.

Истинную пористость вычисляют по формуле:

$$\Pi_n = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) * 100 \quad (6)$$

где  $\Pi_n$  истинная пористость, %;  $m_0$  масса сухого образца, г;  $\rho_0$  объемная пористость образцов, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho$  плотность материала образцов, определяемая по методике ГОСТ 12730-67 [3], в данном случае принято усредненное нормативное значение 2,65 кг/м<sup>3</sup>.

Далее вычисляют вспомогательные величины по формулам:

$$W'_1 = \frac{m_1 - m_0}{m_{24} - m_0} \quad (7)$$

где  $m_0$  — масса сухого образца, г;  $m_1$  — масса образца спустя час после начала водопоглощения, г;  $m_{24}^B$  — масса водонасыщенного образца в воде, г.

$$W'_{0,25} = \frac{m_{0,25} - m_0}{m_{24} - m_0} \quad (8)$$

где  $m_0$  — масса сухого образца, г;  $m_{0,25}$  — масса образца спустя 0,25 часа после начала водопоглощения, г;  $m_{24}^B$  — масса водонасыщенного образца в воде, г.

Зная величину  $W'_1$ , по номограмме определяют вспомогательный показатель  $\lambda_1$ , а по величине  $W'_{0,25}$  и  $\lambda_1$  — величину  $\lambda_2$ . По показателям  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  устанавливают величину  $\lambda$ . Для этого используют номограммы, представленные на рисунке 2, и рисунке 3.

Результаты расчета, приведенного выше для всех образцов оформлен в таблицах 1, 2, 3, 4.

### Анализ изменения параметров пористой структуры во времени

Для оценки влияния возраста бетона на формирование его поровой структуры были проанализированы параметры, определенные методом кинетики водопоглощения. Полученные коэффициенты позволяют косвенно оценить характер распределения пор, степень их связности и потенциальное влияние структуры на эксплуатационные свойства материала.

Особый интерес представляют параметры  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  характеризующие особенности строения порового пространства цементного камня. Параметр  $\lambda_1$  отражает степень упорядоченности структуры и характер распре-

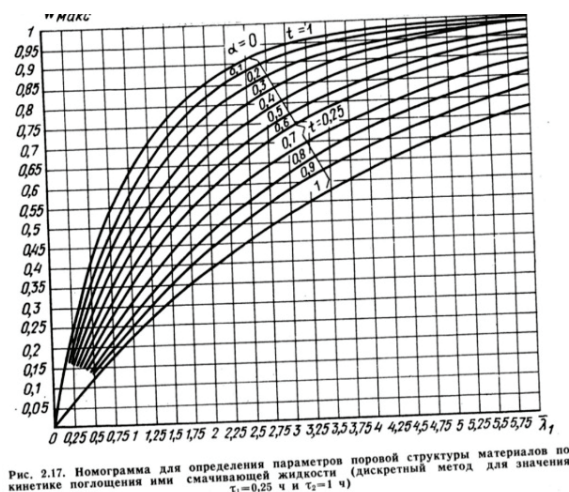


Рис. 2. Номограмма для определения параметров поровой структуры материалов по кинетике поглощения ими смачивающей жидкости

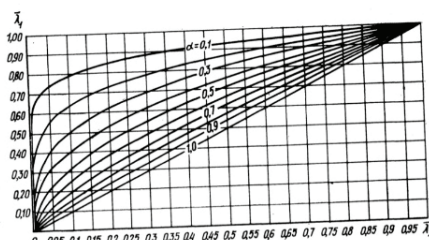
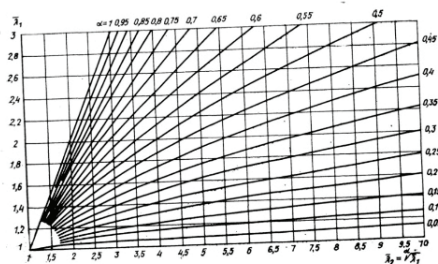


Рис. 3. Номограммы для вычисления показателя  $\lambda_1$

Таблица 1. Расчет параметров необходимых для оценки кинетики водопоглощения для образцов на 5 сутки

№	m0	m0,25	m1	m24	m24в	Wв	p0	Wo	Wp	Πи	W1'	W0,25'	λ1	a	λ2	Fобп	θ
7.1	2,356	2,41	2,429	2,448	1,425	3,90	2,30	8,99	3,90	13,09	0,79	0,59	1,9	0,55	3,3	400	0,22
7.2	2,306	2,36	2,377	2,396	1,396	3,90	2,31	9,00	3,90	12,98	0,79	0,60	1,8	0,56	3,1	500	0,17
5.2	2,305	2,361	2,38	2,4	1,396	4,12	2,30	9,46	4,12	13,37	0,79	0,59	1,9	0,55	3,3	400	0,25
Средние значения																	
													1,86	0,553	3,23	-	0,21

Таблица 2. Расчет параметров необходимых для оценки кинетики водопоглощения на 10 сутки

№	m0	m0,25	m1	m24	m24в	Wв	p0	Wo	Wp	Πи	W1'	W0,25'	λ1	a	λ2	Fобп	θ
3.1	2,36	2,408	2,423	2,436	1,418	3,22	2,32	7,47	3,22	12,52	0,83	0,63	1,9	0,56	3,5	500	0,17
3.2	2,323	2,367	2,383	2,397	1,396	3,19	2,32	7,39	3,19	12,43	0,81	0,59	2,0	0,54	3,8	500	0,16
2.2	2,414	2,462	2,477	2,491	1,451	3,19	2,32	7,40	3,19	12,41	0,82	0,62	1,9	0,55	3,6	500	0,15
Средние значения																	
													1,93	0,55	3,63	-	0,16

Таблица 3. Расчет параметров необходимых для оценки кинетики водопоглощения на 14 сутки

№	m0	m0,25	m1	m24	m24в	Wв	p0	Wo	Wp	Πи	W1'	W0,25'	λ1	a	λ2	Fобп	θ
5.1	2,379	2,41	2,426	2,436	1,417	2,40	2,33	5,59	2,40	11,90	0,82	0,54	2,0	0,5	4	500	0,15
4.2	2,34	2,373	2,384	2,401	1,391	2,61	2,32	6,04	2,61	12,57	0,72	0,54	1,9	0,49	3,5	600	0,12
4.1	2,385	2,416	2,426	2,44	1,419	2,31	2,34	5,39	2,31	11,85	0,75	0,56	1,9	0,48	3,4	600	0,11
Средние значения																	
													1,93	0,49	3,63	-	0,12

Таблица 4. Расчет параметров необходимых для оценки кинетики водопоглощения на 28 сутки

№	m0	m0,25	m1	m24	m24в	Wв	p0	Wo	Wp	Πи	W1'	W0,25'	λ1	a	λ2	F <sub>обп</sub>	θ
2.1	2,382	2,417	2,436	2,473	1,438	3,82	2,30	8,79	3,82	13,15	0,59	0,38	2,4	0,4	5	600	0,10
6.1	2,289	2,326	2,345	2,376	1,387	3,80	2,31	8,80	3,80	12,66	0,64	0,43	2,2	0,43	4,5	600	0,09
6.2	2,307	2,343	2,36	2,391	1,393	3,64	2,31	8,42	3,64	12,77	0,63	0,43	2,1	0,43	4,3	600	0,08
Средние значения																	
													2,23	0,42	4,6	-	0,09

деления пор по размерам, тогда как  $\lambda_2$  связан с совершенством поровой структуры и косвенно характеризует морозостойкость материала. Увеличение данных параметров в процессе твердения свидетельствует о развитии более плотной структуры цементного камня.

По результатам расчетов установлено, что в процессе твердения бетона наблюдается постепенное увеличение значений  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Если в возрасте 5 суток среднее значение  $\lambda_1$  составляло 1,86, то к 28 суткам оно увеличилось до 2,23. Аналогичная тенденция наблюдается для параметра  $\lambda_2$ , значения которого возросли с 3,23 до 4,60.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе гидратации цемента происходит постепенное уменьшение доли крупных сообщающихся капиллярных пор и формировании более плотной структуры цементного камня. Наиболее интенсивные изменения наблюдаются после 14 суток твердения, когда процессы структурообразования продолжают активно развиваться. График зависимостей показателей  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  от возраста бетона представлен на рисунке 4.

Анализ предоставленных зависимостей показывает, что оба параметра изменяются в одном направлении, что подтверждает закономерное совершенствование структуры порового пространства по мере твердения бетона. Особенно заметным является рост параметра  $\lambda_2$ , что указывает на повышение устойчивости структуры к воздействию отрицательных температур и циклическому замораживанию.

Другим важным показателем является коэффициент, характеризующий неоднородность поровой структуры материала. Увеличение значения соответствует более развитой системе крупных сообщающихся пор, тогда как снижение данного коэффициента свидетельствует об уплотнении структуры цементного камня и уменьшении доли неблагоприятных капиллярных пустот.

Параметр  $\theta$  представляет собой относительное увеличение разности объемных деформаций и используется при оценке морозостойкости бетона дилатометрическим методом. Чем меньше значение  $\theta$ , тем более благоприятной

является структура материала с точки зрения сопротивления циклическому замораживанию и оттаиванию.

Результаты расчетов показывают устойчивое снижение обоих параметров в процессе твердения бетона. Среднее значение коэффициента уменьшилось с 0,553 в возрасте 5 суток до 0,42 в возрасте 28 суток. Аналогично параметр  $\theta$  снизился с 0,21 до 0,09.

Снижение указанных показателей свидетельствует о постепенном уплотнении цементного камня, уменьшении объема сообщающихся капиллярных пор и снижении вероятности возникновения внутренних напряжений при замерзании воды в поровом пространстве. График зависимостей показателей  $\theta$  и от возраста бетона представлен на рисунке 5.

Представленные зависимости подтверждают, что формирование структуры бетона сопровождается снижением доли наиболее опасных для морозостойкости капиллярных пор. При этом уменьшение параметра  $\theta$  согласуется с общей тенденцией повышения качества поровой структуры, установленной по результатам анализа коэффициентов  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Одним из важнейших эксплуатационных показателей бетона является морозостойкость. В настоящей работе оценка выполнялась дилатометрическим методом. Расчет морозостойкости осуществлялся на основании параметра  $\theta$ , отражающего особенности деформационного поведения материала при замораживании водонасыщенного образца.

По результатам расчета установлено, что с увеличением возраста бетона наблюдается рост прогнозируемой морозостойкости. В возрасте 5 суток материал соответствовал диапазону морозостойкости F400, в возрасте 10 суток достигал F500, а начиная с 14 суток соответствовал классу морозостойкости F600.

Полученные результаты хорошо согласуются с ранее установленными закономерностями изменения параметров поровой структуры. По мере протекания процессов гидратации происходит уменьшение объема сообщающихся капиллярных пор снижению значений  $\theta$  и ,

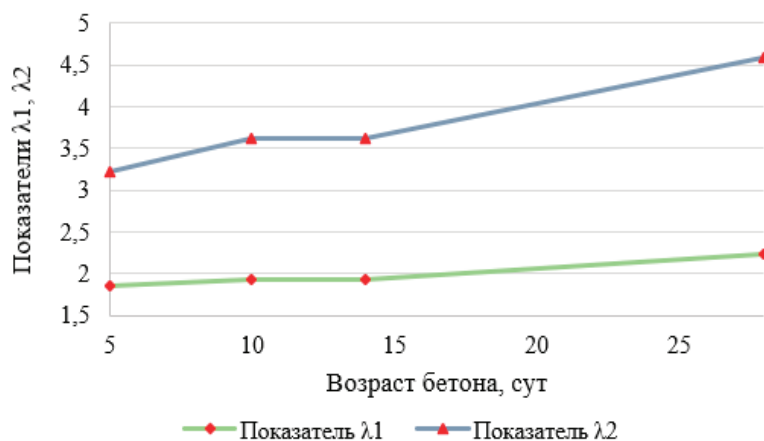
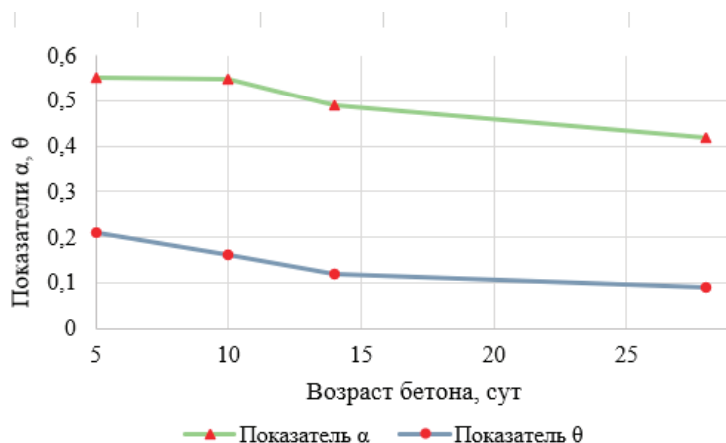


Рис. 4. Зависимость показателей  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  от возраста бетона

Рис. 5. Зависимость показателей  $\theta$  и  $\alpha$  от возраста бетона

а также увеличению параметров  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , что в конечном итоге приводит к повышению морозостойкости.

Как видно исходя из графика, наиболее интенсивный рост морозостойкости наблюдается в первые две недели твердения, что соответствует периоду наиболее активного формирования структуры цементного камня. В дальнейшем рост морозостойкости замедляется, что связано с постепенным завершением основных процессов гидратации.

Проведенный анализ показал, что в процессе твердения бетона происходит закономерное совершенствование его поровой структуры. Это подтверждается увеличением параметров  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , снижением коэффициента  $\theta$ , а также ростом прогнозируемой морозостойкости от F400 до F600. Полученные результаты свидетельствуют о постепенном уменьшении доли сообщающихся капиллярных пор и формировании более плотной структуры цементного камня, что оказывает положительное влияние на долговечность и морозостойкость исследуемой бетонной смеси.

### Заключение

Проведенное исследование показало возможность использования метода кинетики водопоглощения и графоаналитического подхода Шейкина для ранней косвенной оценки долговечности бетона. В отличие от традиционных методов определения морозостойкости, требующих значительных временных затрат, рассматриваемый подход позволяет уже на ранних сроках твердения получить информацию о формировании пористой структуры материала, и прогнозировать его дальнейшие эксплуатационные свойства.

### Литература:

1. Шейкин, А. Е. Структура и свойства цементного камня / А. Е. Шейкин, М. И. Брюссер, Ю. В. Чеховский. — М.: Стройиздат, 1979. — 344 с. — Текст: непосредственный.
2. ГОСТ 12730–67. Бетоны. Методы определения плотности. — М.: Издательство стандартов, 1968. — 12 с.

Установлено, что достижение бетоном требуемой прочности не означает завершение процессов структурообразования. После набора распалубочной или проектной прочности, которая обычно достигается в возрасте 3–10 суток, продолжается изменение параметров порового пространства, оказывающих непосредственное влияние на долговечность и морозостойкость материала. В этот период происходит уплотнение структуры цементного камня, снижение объема сообщающихся капиллярных пор и повышение устойчивости бетона к воздействию внешней среды.

Полученные результаты показывают, что оценка параметров пористой структуры может быть использована для прогнозирования эксплуатационных характеристик бетона на ранних стадиях твердения и своевременного выявления потенциальных рисков развития деструктивных процессов в конструкции.

Наибольшую практическую ценность данный подход представляет для ответственных сооружений с повышенными требованиями к долговечности, включая мостовые конструкции, транспортные сооружения, гидротехнические объекты и цементобетонные дорожные покрытия. Для таких конструкций важно обеспечить не только требуемую прочность, но и формирование структуры, способной сохранять работоспособность в течение всего срока эксплуатации.

В связи с этим рекомендуется использовать методы косвенной оценки параметров пористой структуры в качестве дополнительного инструмента контроля качества бетона на ранних сроках твердения. Это позволит повысить достоверность прогнозирования долговечности конструкций и снизить вероятность возникновения эксплуатационных повреждений в дальнейшем.



## Архитектурно-планировочные решения ледовой арены в городе Грозном

Умаров Магомед Ибрагимович, студент;

Аюбов Магомед Абдулбекович, заведующий лабораторией

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова

*В статье рассматриваются архитектурно-планировочные решения проектируемой ледовой арены в городе Грозном. Выполнен анализ функциональной структуры объекта, особенностей объемно-пространственной организации, архитектурного облика и инженерного обеспечения здания. Исследуются современные подходы к формированию спортивных сооружений, ориентированных на проведение тренировочного процесса, соревнований и массовых мероприятий. Рассматриваются вопросы интеграции объекта в городскую среду, обеспечения комфорта посетителей и создания условий для эффективной эксплуатации здания. Сделан вывод о значении современных ледовых арен как элементов спортивной и общественной инфраструктуры города.*

**Ключевые слова:** ледовая арена, спортивное сооружение, архитектурное проектирование, объемно-планировочное решение, общественное здание, спортивная инфраструктура, городская среда.

### Введение

Развитие современной спортивной инфраструктуры является одним из важных направлений формирования комфортной городской среды. В последние годы в Российской Федерации наблюдается устойчивый рост интереса к строительству объектов физической культуры и спорта, способных обеспечить проведение тренировочного процесса, соревнований различного уровня и массовых мероприятий. Особое место среди подобных сооружений занимают ледовые арены, представляющие собой сложные многофункциональные комплексы, объединяющие спортивные, общественные и административные функции.

Для города Грозного строительство современной ледовой арены имеет не только спортивное, но и социальное значение. Подобный объект способствует популяризации зимних видов спорта, расширению возможностей для подготовки спортсменов и организации культурно-массовых мероприятий. Кроме того, создание новых общественных пространств оказывает положительное влияние на развитие городской среды и повышение качества жизни населения.

Особенности формирования архитектурной концепции. Проектируемая ледовая арена относится к категории современных спортивных сооружений, в которых основное внимание уделяется рациональной организации внутреннего пространства, удобству эксплуатации и архитектурной выразительности объекта. При разработке проектных решений учитывались требования действующих нормативных документов, регламентирующих проектирование общественных и спортивных зданий.

Архитектурный облик сооружения формируется за счет сочетания лаконичных геометрических объемов и современных фасадных материалов. Внешняя отделка предусматривает использование навесной вентилируемой фасадной системы с облицовкой металлическими панелями и эффективным теплоизоляционным слоем. Такое решение обеспечивает не только выразительность архитектурного образа, но и способствует повышению энерго-

эффективности здания. Для остекления применяются современные светопрозрачные конструкции, позволяющие обеспечить необходимый уровень естественного освещения внутренних помещений.

Объемно-планировочная структура здания. Одним из ключевых факторов эффективности спортивного сооружения является грамотно организованная планировочная структура. В проекте ледовой арены особое внимание уделено функциональному разделению основных потоков посетителей, спортсменов, обслуживающего персонала и технических служб.

Центральное место в структуре объекта занимают ледовые площадки, являющиеся основой спортивной деятельности комплекса. Вокруг них формируется система вспомогательных помещений, включающая раздевальные, тренерские комнаты, медицинские кабинеты, помещения хранения инвентаря и административные зоны. Такой подход обеспечивает удобство эксплуатации объекта и создает оптимальные условия для организации тренировочного процесса.

В составе комплекса предусмотрены общественные пространства, предназначенные для пребывания зрителей и посетителей. Входная группа включает вестибюльную зону, гардероб, помещения охраны и обслуживания посетителей. Дополнительные функции представлены зонами общественного питания, методическими кабинетами и помещениями административного назначения.

Функциональная организация спортивного пространства. Современные ледовые арены рассматриваются не только как объекты для проведения соревнований, но и как многофункциональные комплексы, способные работать в течение всего года. Именно поэтому важной особенностью проектируемого объекта является наличие различных функциональных зон, обеспечивающих комплексный подход к подготовке спортсменов.

Помимо ледовых площадок в здании предусматриваются помещения для общей физической подготовки и специализированных тренировочных занятий. Такое решение позволяет организовать полный цикл спор-

тивной подготовки в пределах одного комплекса. Наличие дополнительных помещений создает условия для проведения учебно-тренировочных сборов и спортивно-массовых мероприятий различного масштаба.

Важным аспектом является обеспечение удобной логистики внутри здания. Планировочные решения предусматривают минимизацию пересечения потоков различных категорий пользователей, что способствует повышению безопасности и комфорта эксплуатации объекта.

Архитектурная среда и комфорт пользователей. При проектировании общественных спортивных сооружений особое значение имеет создание благоприятной внутренней среды. Одним из факторов, влияющих на комфорт пользователей, является естественное освещение. В проекте предусмотрено использование оконных и витражных конструкций, обеспечивающих поступление естественного света в помещения постоянного пребывания людей. Такое решение способствует улучшению визуального восприятия пространства и созданию благоприятных условий для работы и отдыха посетителей.

Не менее важным является обеспечение акустического комфорта. Для достижения требуемых показателей звукоизоляции используются современные строительные конструкции и отделочные материалы, позволяющие снизить уровень шума между отдельными функциональными зонами.

В интерьерах комплекса предполагается применение современных архитектурных решений, ориентированных на создание визуально выразительного и одновременно функционального пространства. Использование долговечных отделочных материалов обеспечивает надежность эксплуатации и удобство обслуживания помещений.

Градостроительное значение объекта. Строительство ледовой арены представляет собой важный этап развития спортивной инфраструктуры города Грозного. Подобные объекты становятся центрами общественной активности и способствуют формированию новых точек притяжения для жителей города.

Современные спортивные комплексы оказывают влияние не только на развитие спорта, но и на социальную сферу в целом. Они создают условия для проведения соревнований, культурных мероприятий, образовательных программ и различных общественных инициатив. Благодаря этому спортивное сооружение становится важным элементом городской структуры, объединяющим различные категории населения.

Кроме того, появление новых общественных объектов способствует повышению инвестиционной привлекательности территории и стимулирует развитие прилегающей инфраструктуры. В долгосрочной перспективе подобные проекты оказывают положительное влияние на формирование современного архитектурного облика города.

### Заключение

Проведенный анализ показывает, что проектируемая ледовая арена в городе Грозном представляет собой современное многофункциональное спортивное сооружение, отвечающее актуальным требованиям архитектурного и градостроительного проектирования. Принятые объемно-планировочные решения направлены на создание комфортной, безопасной и эффективной среды для спортсменов, зрителей и персонала.

Функциональная организация комплекса обеспечивает возможность проведения тренировочного процесса, соревнований и общественных мероприятий различного уровня. Использование современных архитектурных и инженерных решений способствует повышению эксплуатационной эффективности объекта и формированию выразительного архитектурного образа.

Реализация данного проекта позволит расширить спортивную инфраструктуру города Грозного, создать новые возможности для развития зимних видов спорта и повысить качество общественной среды, что соответствует современным направлениям развития городской архитектуры.

### Литература:

1. Хаидов, Х. Я. Влияние архитектурной идентичности общественных зданий на туристическую привлекательность и экономику города / Х. Я. Хаидов, Х. А. Алиева // Экономика и управление: проблемы, решения. — 2026. — Т. 7, № 2(167). — С. 112–118. — DOI 10.36871/ek.up.r.2026.02.07.012. — EDN DIBHXL.
2. Методология организации строительства комплексного развития территорий для обеспечения ресурсной и логистической координации / А. А. Лапидус, Б. М. Красновский, С. А. Ю. Муртазаев, С. А. Алиев // Строительное производство. — 2025. — № 1. — С. 3–7. — DOI 10.54950/26585340\_2025\_1\_3. — EDN NKSCFC.
3. Нефедов В. А. Архитектура общественных зданий и сооружений. — М.: Архитектура-С, 2022.
4. Основные предпосылки и условия исследования спортивных центров / Х. Я. Хаидов, К. Б. Абакарова, И. А. Мирзаев, М. Б. Абакарова // МИЛЛИОНЩИКОВ-2023: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Грозный, 30–31 мая 2023 года. — Грозный: ГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова, 2023. — С. 217–221. — DOI 10.26200/GSTOU.2023.65.37.042. — EDN JRTVAN.
5. Современные спортивные сооружения: теория и практика проектирования. — СПб.: Лань, 2023.
6. Архитектура спортивных комплексов в современной городской среде // Архитектура и строительство России. — 2024. — № 2.

7. Анализ отечественного опыта в контексте проблемы исследования инклюзивных спортивных центров / Х. Я. Хаидов, К. Б. Абакарова, И. А. Мирзаев, М. Б. Абакарова // МИЛЛИОНЩИКОВ-2023: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Грозный, 30–31 мая 2023 года. — Грозный: ГГНТУ имени академика М. Д. Миллионщикова, 2023. — С. 200–204. — DOI 10.26200/GSTOU.2023.50.81.039. — EDN LKYIPE.
8. Проектная документация объекта «Строительство ледовой арены на 500 зрительских мест в г. Грозном Чеченской Республики». — Грозный, 2024.

## Концептуальные основы разработки капсульной коллекции одежды: теория и методология

Шавлак Александра Владимировна, студент

Инженерная школа одежды (колледж) Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

*Статья посвящена исследованию концепции капсульной коллекции одежды как современного подхода к проектированию гардероба. Рассматриваются теоретические основы создания капсульных коллекций, их отличительные характеристики и преимущества. Особое внимание уделяется анализу источников вдохновения в процессе проектирования коллекции одежды. В качестве примера источника вдохновения представлены карельские мотивы, включающие природное наследие, культурные традиции и эпическое творчество. Работа содержит методологические рекомендации по проектированию капсульной коллекции. Также имеет практическое значение для студентов и специалистов в области дизайна одежды.*

**Ключевые слова:** капсульная коллекция, дизайн одежды, источник вдохновения, карельские мотивы, проектирование коллекции, мировые эпосы, устойчивая мода.

### Введение

Создание коллекции одежды — сложный процесс, выходящий за рамки пошива элементов и принятия эстетических решений. В основе любого творческого процесса лежит концептуальная идея, которая служит отправной точкой для дизайнеров и источником творческого импульса на всех этапах. Именно основная концепция коллекции определяет её основной характер, стилистическую направленность, композиционные особенности и, в конечном счёте, формирует восприятие продукта целевой аудиторией.

В контексте современного развития индустрии моды особенно актуальна концепция капсульной коллекции одежды — индивидуальный набор ограниченного ассортимента одежды или аксессуаров, состоящего из взаимозаменяемых и взаимодополняющих вещей. Основная идея капсульной коллекции заключается в создании универсального базового гардероба, открывающего возможность создания множества различных стилистических образов из небольшого количества вещей путём гармоничного сочетания всех элементов. В состав капсульной коллекции входит 10–15 вещей. Пример ассортимента на рис. 1, 2.

Термин «капсульный гардероб» впервые появился в 1970-х годах благодаря владелице лондонского бутика Сьюзи Фокс, которая разработала концепцию легко интегрируемых базовых, качественных вещей.

С тех пор идея капсульной коллекции получила широкое распространение как среди дизайнеров, так и среди потребителей, заботящихся о рациональности и стиле.

Большинство капсульных коллекций разрабатываются с учётом сезонных особенностей и текущих модных тенденций, но их также можно построить на основе базовых классических вещей, поскольку модные тенденции со временем меняются. Стратегический подход может значительно сократить время, затрачиваемое на выбор повседневного наряда, и значительно упростить процесс создания целостного и стильного образа.

### Сущность и характеристики капсульной коллекции

Универсальность: все предметы коллекции можно свободно комбинировать, создавая разнообразные визуальные образы. Этот принцип основан на тщательно подобранной цветовой гамме, гармоничных силуэтах и едином стилистическом направлении. При правильном проектировании капсульной коллекции из ограниченного числа элементов можно создать значительное количество различных комплектов, что обеспечивает высокую вариативность при оптимизации ресурсов.

Экономия временных ресурсов: сокращённое количество предметов в гардеробе существенно облегчает процесс повседневного выбора одежды. Современный человек, по данным социологических исследований, затрачивает в среднем от двадцати до сорока минут каждое



Рис. 1. Пример ассортимента вещей верха капсульной коллекции

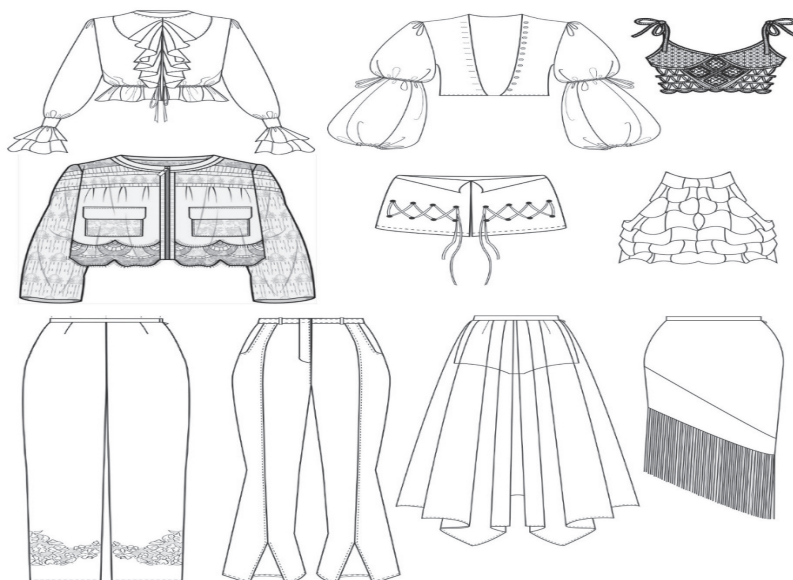


Рис. 2. Пример ассортимента вещей низа капсульной коллекции

утро на подбор подходящего комплекта одежды [1, с. 134]. Капсульный подход минимизирует эту потерю времени, поскольку все возможные комбинации заранее продуманы дизайнером и гармонично сочетаются между собой.

Сокращение импульсивных покупок: наличие капсульной коллекции помогает избежать нерациональных спонтанных покупок и поддерживает концепцию устойчивой моды. Владелец такого гардероба более осознанно подходит к покупке новых предметов одежды, оценивая их совместимость с уже имеющимися элементами и реальную практическую необходимость приобретения.

Стимулирование творческого подхода: парадоксальным образом ограниченное количество вещей в гардеробе может способствовать развитию более креативного и изобретательного подхода к стилизации образов [2, с. 167]. Работая с определённым фиксированным на-

бором элементов, человек вынужден искать новые, нестандартные комбинации, экспериментировать с аксессуарами и осваивать различные техники многослойности.

### Роль источника вдохновения в проектировании коллекции одежды

Источник вдохновения, в процессе создания любой коллекции одежды, формирует концептуальную, эстетическую и семантическую основу.

Источник вдохновения — это многогранное явление, импульс к которому может дать любая ситуация, личность или эмоциональное переживание [3, с. 56]. Осознание своих источников вдохновения и целенаправленное их развитие открывает дизайнерам возможность находить инновационные способы решения творческих задач, не-



предвзято встречать вызовы и открывать для себя новое. Вдохновение представляет собой особый дар, позволяющий творить, мечтать и преобразовывать мир вокруг.

### Республика Карелия как источник вдохновения для коллекции одежды

В качестве вдохновения для создания капсульной коллекции одежды предлагается использовать карельские культурные мотивы. Республика Карелия — уникальная территория, органично сочетающая величественные природные ландшафты и богатое многовековое культурное наследие.

Карельская природа характеризуется особой суровой эстетикой северных регионов: обширными хвойными лесами, множеством озёр с прозрачной водой, живописными гранитными скалами и водопадами. Эта природная палитра включает глубокие оттенки зеленого (хвойные массивы), серо-голубые тона (водная гладь и небесный свод), серые и охристые цвета (гранитные породы и мхи), белые оттенки (березы) и терракотовые тона (осенняя листва) [4, с. 92]. Данная естественная цветовая гамма идеально подходит для формирования капсульной коллекции, поскольку все оттенки органично гармонируют друг с другом.

Культурное наследие Карелии включает богатые традиции карельского народа, элементы финской культуры и влияние русских обычаев. Карельская вышивка, резьба по дереву, национальные костюмы являются важным источником орнаментальных мотивов и дизайнерских решений для современного дизайна.

**Роль литературных эпосов как источника вдохновения заслуживает особого внимания в контексте дизайна одежды.**

В литературе мировой эпос — это монументальные произведения, отражающие культурно-исторические и религиозные особенности народов. Как литературный жанр эпос повествует о героических событиях, подвигах выдающихся людей и жизни народов в целом. Эпические произведения играют ключевую роль в сохранении культурной самобытности народов, передаче ценностей из поколения в поколение и формировании коллективной исторической памяти.

Мировые эпосы классифицируются по различным признакам в зависимости от культурной принадлежности, географического происхождения, исторического периода создания и тематической направленности. К наиболее значительным произведениям эпической литературы относятся: древнегреческие эпосы Гомера («Илиада» и «Одиссея»), древнеиндийские эпические поэмы («Махабхарата» и «Рамаяна»), скандинавские саги и эдды, средневековые европейские эпосы («Песнь о Роланде», «Песнь о Нибелунгах»), а также карело-финский эпос «Калевала» [5, с. 178].

Образы и мотивы из эпических произведений могут быть творчески переосмыслены и адаптированы в дизайне современной одежды через различные средства художественной выразительности: символику цвета, орнаментальные композиции, характерные силуэтные решения, специфические текстуры и фактуры материалов. Адаптация продемонстрирована на рис. 3.

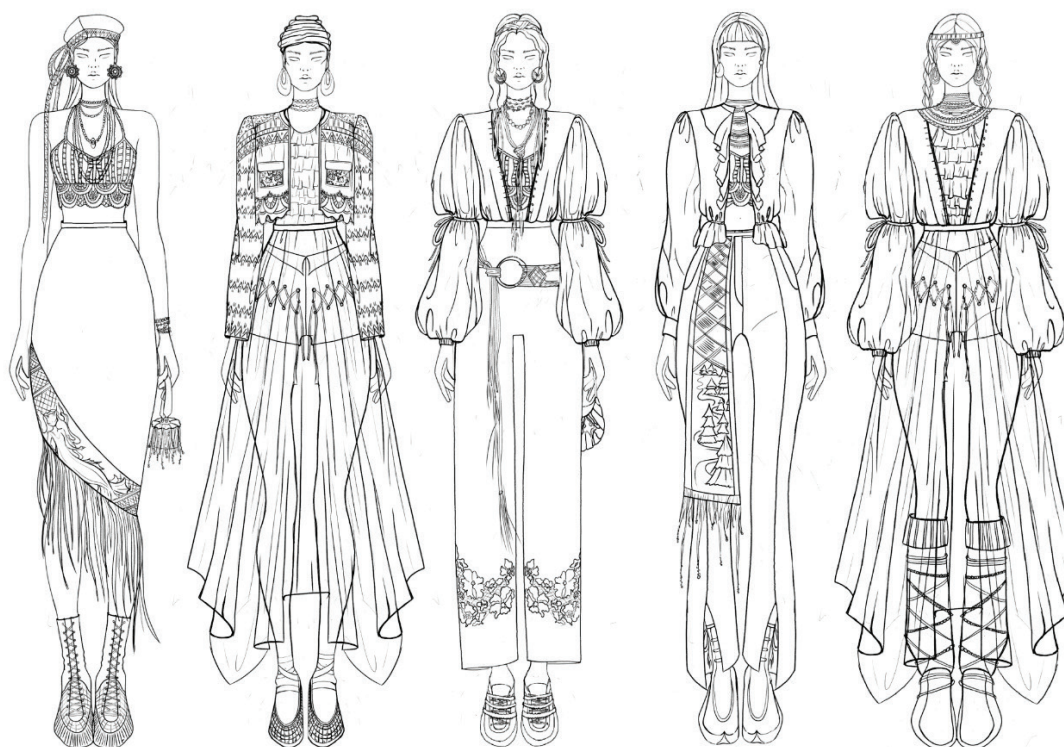


Рис. 3. Адаптация в дизайн современной одежды



Использование эпической традиции в качестве источника вдохновения придаёт коллекции значительную культурную глубину и смысловую насыщенность, выходящую за рамки чисто эстетического восприятия [6, с. 201].

### Карело-финский эпос «Калевала»

Карело-финский эпос «Калевала», написанный в XIX веке финским фольклористом Элиасом Лённротом, представляет собой сборник рун (песен), повествующих о сотворении мира, героических персонажах и магических событиях.

Основные темы «Калевалы»:

- Мифы о сотворении Вселенной;
- Волшебная мельница, приносящая процветание, борьба за Сампо;
- Сила слов, песен и музыки;
- Связь двух миров: «Калевала» и «Похьела»;
- Истории любви и семейные конфликты.

Визуальный потенциал «Калевалы» для дизайна одежды кроется в богатстве символов и мотивов:

- Переосмысление мифологических персонажей в дизайне коллекций;
- — Магические артефакты (сампо, кантеле) могут служить источником декоративных элементов;
- Цветовые и фактурные решения для описания природы и стихий.

Литература:

1. Психология моды и потребительского поведения / под ред. О. В. Посыпановой. — Калуга: КГУ им. К. Э. Циолковского, 2019. — 256 с.
2. Беляева-Экземплярская, С. Н. Моделирование одежды по законам зрительного восприятия / С. Н. Беляева-Экземплярская. — Москва: Академия, 2018. — 320 с.
3. Пармон, Ф. М. Композиция костюма. Одежда, обувь, аксессуары / Ф. М. Пармон. — Москва: Легпромбытиздат, 2018. — 318 с.
4. Природа Карелии: энциклопедия / под ред. В. И. Крутова. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2018. — 368 с.
5. Калевала: карело-финский эпос / пер. с фин. Л. П. Бельского. — Петрозаводск: Карелия, 2018. — 584 с.
6. Нестеренко, О. И. Краткая энциклопедия дизайна / О. И. Нестеренко. — Москва: Молодая гвардия, 2019. — 495 с.

### Заключение

Капсульная коллекция одежды — это современный подход к дизайну гардероба, отвечающий потребностям рационального потребления, экологической ответственности и личного стиля. Ключевые преимущества капсульного подхода — экономия времени, снижение импульсивных покупок и стимулирование творчества, делают его актуальным для современного потребителя.

Ключевым элементом успешной капсульной коллекции является прочная концептуальная основа, отраженная в выборе источника вдохновения. Источник вдохновения определяет эстетическое направление, цветовую палитру, выбор материалов и декоративные решения.

Карельские мотивы являются богатым и многогранным источником вдохновения для создания капсульной коллекции. Природа Карелии полна гармоничных цветов и текстур, обогащает коллекцию культурным наследием орнаментальными и конструктивными решениями, добавляет глубины смысловому значению эпической традиции.

В настоящее время использование региональных культурных мотивов в дизайне одежды способствует сохранению и популяризации культурного наследия, создавая коллекции с уникальной индивидуальностью и глубоким смыслом.



# Молодой ученый

## Международный научный журнал

№ 24 (627) / 2026

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

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

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

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

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

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

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

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

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

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

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <https://moluch.ru/>

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