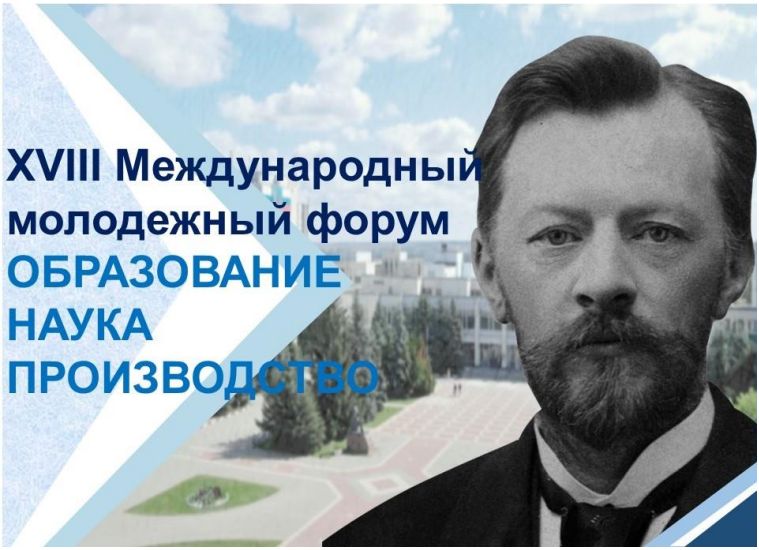
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов «Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 2

Инженерно-технические науки

г. Белгород
15-16 октября 2026 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

М 43 **XVIII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – Ч. 2. – 550 с.**

ISBN 978-5-361-01706-5

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XVIII Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство». Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01706-5

©Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2026

УДК 504.06

[1]Кривошеева М.А., [2]Угнивенко В.С.

Научный руководитель: [1]Степанова М. Н., канд. техн. наук, доц.
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия
[2]Белгородский педагогический колледж, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЬДА НА АККУМУЛЯЦИЮ МОРЕННОГО МАТЕРИАЛА И ФОРМИРОВАНИЕ ДРУМЛИНОВЫХ ПОЛЕЙ

Морены- скопление обломков горных пород (валунов, гравия, песка, глины), переносимых или отложенных ледниками. Морены формируются в результате эрозионной и аккумулятивной деятельности ледников: лед захватывает рыхлые породы, перемещает их и откладывает при таянии или замедлении движения. Морены бывают нескольких типов: боковые- накапливаются по краям ледника; срединные- образуются при слиянии боковых морен разных потоков; донные(основные)- отложения под телом ледника, часто переработанные движением льда; конечные(фронтальные)- формируются у края ледника, фиксируют его максимальное продвижение или остановки при отступании.

Друмлины- продолговатые холмы эллиптической формы, ориентированные по направлению движения ледника. Обычно сложены материалом основной морены, иногда с ядром из ледникового отторжения. Черты друмлинов: продольная ось вытянута параллельно движению льда, пологий и длинный склон обращен в сторону отступавшего ледника, противоположный склон- более крутой и высокий (фронтальный склон); типичные размеры: длина 100-2500 метров, ширина 100-600 метров, высота 10-45 метров (встречаются и более крупные формы); часто образуют друмлиновые поля- скопление десятков и сотен холмов, создающие характерные «волнистый» рельеф.

Гидродинамическая неустойчивость в системе «лед-морена» является ключевым механизмом, объясняющим спонтанное зарождение друмлинов. В рамках гипотезы, друмлины возникают не из-за наличия неровностей подстилающего рельефа, а как результат внутренней динамики течения льда и деформируемой подледниковой морены. Реологические свойства льда, в первую очередь его эффективная вязкость и мощность ледяного покрова, напрямую определяют условия,

при которых эта неустойчивость развивается. Исследования показывают, что связанное течение льда и вязкой морены является условно неустойчивым. Это обозначает, что в определенных диапазонах параметров небольшие возмущения толщины морены начинают самопроизвольно расти, формирую будущие друмлины. Ключевую роль играет масштаб возмущений по отношению к мощности льда: короткие волны (100м) при таком масштабе наблюдается высокая скорость роста возмущений. Этот механизм постулируется как основной для «зарождения» друмлинов и связан с классическим решением Ная-Камба для потока льда над неровностями. Волны, меньшие мощности льда: в этом режиме лед ведет себя как жесткая среда, вынуждая волны морены двигаться со скоростью льда. Волны, большие мощности льда: здесь потоки льда и морены становятся почти независимыми, и волны морены движутся со своей кинематической скоростью. Важно, что реологические свойства льда определяют не только сам фактор неустойчивости, но и тип формирующихся форм.

Для описания движения ледникового льда применяются различные реологические модели, учитывающие его вязко-пластичные свойства. К ключевым подходам и их значениям для процессов аккумуляции моренного материала и формирования друмлинов относится: Теория Глена $\varepsilon = A\tau^n$, где ε-скорость деформации ($с^{-1}$); А-коэффициент, зависящий от температуры, структуры льда, и содержания примесей; τ- напряжение сдвига (Па); n- показатель степени (обычно n≈3 для поликристаллического льда). Аккумуляция морен и формирования друмлинов определяет скорость течения льда и его способность переносить моренный материал; объясняет неравномерное течение в разных частях ледника; позволяет прогнозировать зоны аккумуляции материала в зависимости от локальных напряжений. Так же лед проявляет свойства неньютоновской жидкости- его вязкость зависит от скорости деформации. Псевдопластические жидкости- вязкость уменьшается при увеличении скорости сдвига. В ледниках это проявляется в зонах ускоренного течения, где лед становится более пластичным и способен аккумулировать моренный материал в виде друмлинов. Дилатантные жидкости- вязкость увеличивается при росте скорости сдвижения. Характер для зон трещиноватости, где затрудняется перенос материала. При исследовании друмлинов учитывают нелинейную зависимость между напряжением и деформацией; описывают поведение льда в широком диапазоне условий- от медленного течения до быстрого

скольжения; позволяют моделировать формирование асимметричных друмлинов за счет неравномерного распределения напряжений.

Гранулометрический состав морены выступает фактором, определяющим тип формирующихся подледниковых форм в рамках единого механизма гидродинамической неустойчивости. Согласно современным теоретическим моделям, объединяющим связанное течение льда, подледниковой воды и деформируемой морены, тип неустойчивости-приводящей к образованию либо поперечных гряд, либо трехмерных друмлинов, либо мега-линеаций- зависит в значительной степени от гранулометрии моренного материала. Механизм этой зависимости раскрывается через влияние гранулометрического состава на два взаимосвязанных процесса: реологические свойства морены и тип деформации. В ранних концепциях предполагалось, что крупнозернистые участки морены демонстрируют поведение, тогда как тонкозернистый материал ведет себя как пластичная жидкость. В этом случае грубый материал служи естественным препятствием в потоке морены, а более подвижный тонкозернистый материал обтекает его, формируя форму друмлин. Влияние на подледниковую гидравлику и режим неустойчивости: более тонкозернистые морены с низкой проницаемостью способствуют накоплению порового давления и ослаблению морены, делая ее более податливой к деформации. Напротив, грубозернистые отложения лучше дренируются, обладают более высокой прочностью и меньшей деформируемость. Таким образом, в рамках единой теоретической схемы морены действует как управляющий параметр, который через реологию и гидравлику субстрата модулирует спектр неустойчивости системы «лед-морена», определяя переход от поперечных форм к друмлинам и, далее, к мега-линеациям при изменении условий на границе лед-основание.

Вопрос происхождения друмлинов- каков теории триггерный механизм, инициирующий формирование этим форм? В настоящее время принято считать, что друмлины образуются под активным умеренным льдом, скорее всего, в пределах слоя деформируемого мягкого субстрата в зонах эфемерных «липких точек». Эти «липкие точки» служат тем пусковым механизмом, вокруг которого происходит нуклеация остаточного материала. Анализ показывает, что при различных масштабах возмущений реализуется разные механизмы связи течений льда и тепла. На очень коротких длинах волн (-10 м) лед ведет себя настолько жестко, что вынуждает тепловые волны двигаться со скоростью льда. На длинных волнах (-1000 м) потоки становятся, по

сути, несвязанными, и тепловые волны движутся с кинематической скоростью. Наибольшие скорости роста возмущений, как постулируется, достигаются на промежуточных длинах волн (-100 м), что и определяет масштаб зародышеобразования друмлинов.

Морены, слагающие друмлины, могут представлять собой либо полностью моренные тела, либо моренный чехол, перекрывающий ядро из коренных или рыхлых пород. Выделяют три основных типа друмлинов по строению: с ядром из коренных пород, с ядром из рыхлых пород и полностью сложенные моренных материалов. Анализ текстур этих моренных толщ, несмотря на сложность интерпретации, позволяет судить об условиях формирования друмлиного рельефа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боултон Г.С. Теория формирования друмлинов путем деформации подледниковых осадков // Друмлиновый симпоизиум / Под ред. Дж. Мензиса и Дж. Роуза – 1987. – С. 25-80.

2. Патерсон У.С.Б. Физика ледников/ Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 472с.

3. Лаврушин Ю.А. Строение и формирование основных морен материковых оледенений. -М.: Наука, 1976. -237с.

4. Асеев А.А. Древние материковые оледенения Европы. – М.: Наука, 1974. -319с.

5. Степанова М.Н. Чрезвычайные ситуации природного характера: практикум: учеб. пособие/ БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 109с.

УДК 004

Акуппа Ю.А.
Научный руководитель: Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Рост числа пользователей корпоративных информационных систем приводит к устойчивому увеличению объёма обращений в

службу технической поддержки: до 70 % из них относятся к типовым ситуациям - восстановление доступа, настройка ПО, консультации по функционалу. Обработка таких обращений операторами первой линии требует значительных ресурсов и увеличивает время ожидания для пользователей со сложными инцидентами.

Одним из направлений модернизации КИС является внедрение автоматизированного модуля чат-бота: он ведёт диалог на естественном языке, самостоятельно решает типовые задачи и при необходимости передаёт обращение оператору. В основе таких систем лежат методы обработки естественного языка - классификация намерений и извлечение значимых сущностей. Цель работы - разработка и внедрение модуля для КИС промышленного предприятия, задачи - анализ процесса поддержки, проектирование архитектуры, методика внедрения и оценка эффективности.

Анализ обращений за год показал, что наибольшую долю составляют запросы на восстановление паролей и права доступа (27 %), настройку ПО (21 %), консультации по функционалу (19 %), инциденты с оборудованием (14 %) [1]. Около 60 % обращений решаются по типовым сценариям, что делает их перспективными для автоматизации. Анализ выполнен по данным ITSM-системы за 12 месяцев (более 50 тыс. обращений).

Сформулированы требования к модулю: интеграция с ITSM-системой через REST API, поддержка веб-портала, мессенджеров и электронной почты, круглосуточная работа, эскалация оператору при низкой уверенности классификатора, разграничение доступа и журналирование, соответствие процессам управления инцидентами и запросами по ITIL 4 и требованиям стандарта ISO/IEC 25010 [2].

Архитектура модуля включает четыре основных компонента: NLU-ядро, диалоговый менеджер, базу знаний и интеграционный шлюз (Рис.1). Сообщения из веб-портала, мессенджеров или электронной почты поступают в NLU-ядро, которое классифицирует намерения и извлекает сущности (номера заявки, учётной записи), в качестве основы использован фреймворк Rasa [3].



Рис. 1 – Архитектура автоматизированного модуля чат-бота

Диалоговый менеджер управляет сценариями, хранит контекст и решает вопрос о передаче обращения оператору. База знаний содержит статьи, инструкции и ответы на часто задаваемые вопросы и пополняется по обратной связи пользователей и операторов. Интеграционный шлюз обеспечивает взаимодействие с ITSM-системой, службой каталогов Active Directory, ERP- и CRM-системами. Модуль развёрнут в контуре предприятия без выхода в публичные облака, что соответствует требованиям информационной безопасности [4]. Точность классификации намерений достигла 92 %, полнота - 89 %.

Внедрение выполнялось поэтапно (Табл. 1): обследование процесса поддержки, разработка прототипа, пилотная эксплуатация, промышленная эксплуатация. На каждом этапе определялись измеримые результаты, что позволяло контролировать ход проекта.

Таблица 1 – Этапы внедрения модуля чат-бота

Этап	Содержание работ	Результат	Срок
Обследование	Анализ обращений, сбор базы знаний	Сценарии автоматизации	2 нед.
Прототип	Разработка ядра и сценариев диалога	Прототип, точность выше 85 %	3 нед.
Пилот	Эксплуатация на группе пользователей	Отлаженные сценарии, эффект	4 нед.

Этап	Содержание работ	Результат	Срок
Внедрение	Масштабирование, обучение персонала	Стабильная работа, регламенты	6 нед.

Корпус обращений размечался специалистами поддержки совместно с аналитиками, после чего классификатор дообучался на реальных диалогах. Для снижения риска ошибок предусмотрен порог уверенности: при значении ниже 0,65 обращение передаётся оператору.

Эффективность оценивалась сравнением показателей поддержки за шесть месяцев до и после внедрения по методике, учитывающей нагрузку, время и стоимость обработки обращений (Табл. 2).

Таблица 2 – Показатели поддержки до и после внедрения

Показатель	До	После	Изменение
Обращений в месяц, ед.	4 800	2 780	−42 %
Первый ответ, мин	18,0	2,2	−88 %
Время решения, ч	9,4	6,1	−35 %
Решено без оператора, %	0	68	+68 п. п.
Стоимость обработки, руб.	210	111	−47 %
CSAT, балл	3,9	4,4	+0,5

Динамика показателей представлена на Рис. 2. Нагрузка на первую линию поддержки снизилась на 42 %: типовые обращения полностью решаются чат-ботом. Время первого ответа сократилось с 18 минут до 2,2 минуты, что особенно важно для производственных подразделений. Среднее время решения сложных инцидентов уменьшилось на 35 % за счёт перераспределения нагрузки операторов.

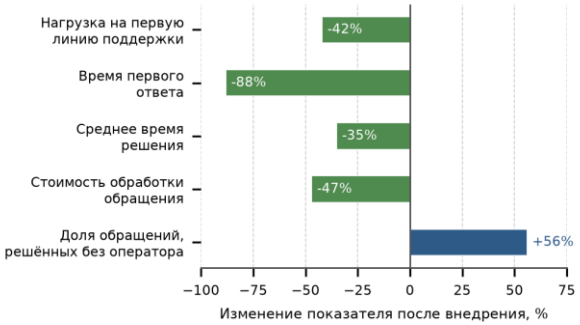


Рис. 2 – Изменение ключевых показателей после внедрения модуля

Экономический эффект рассчитан как разница затрат на обработку обращений с учётом стоимости владения модулем. При 2 780 обращениях в месяц и снижении стоимости обработки на 99 руб. месячная экономия - около 275 тыс. руб., годовая - 3,3 млн руб., за вычетом сопровождения (0,9 млн руб. в год) чистый эффект равен 2,4 млн руб., а срок окупаемости инвестиций (1,4 млн руб.) - семь месяцев.

Основные риски: снижение качества ответов при устаревании базы знаний, необходимость дообучения модели, сопротивление части пользователей диалоговому интерфейсу. Для управления ими предусмотрены актуализация базы знаний, ежемесячный анализ диалогов и расширение перечня сценариев. Высвобожденные ресурсы операторов направлены на сложные инциденты и развитие сервисов [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов С. А. Применение чат-ботов в корпоративной технической поддержке // Информационные технологии и вычислительные системы. 2024. № 4. С. 45–54.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения. Москва : Стандартинформ, 2016. 52 с.
3. Rasa Open Source : документация. URL: https://rasa.com/docs.
4. Богданова Е. В., Кузнецов Д. С. Проектирование диалоговых систем на основе обработки естественного языка // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2023. Т. 20, № 8. С. 32–41.
5. Маматов А. В., Немцев А. Н., Загороднюк Р. А. Моделирование и методы реализации информационной системы распределенной обработки данных с элементами искусственного интеллекта // Известия ТРТУ. 2006. № 5 (60). С. 22–25.

УДК 691.5:568.27

Алешкин К.К., Исса Ю.М., Науменко В.В, Абдуллажонов А.А.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАВНОМЕРНОЙ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНЫЙ БАРАБАН

Сушка – это тепломассообменный процесс удаления жидкости из твердых, жидких веществ или их смесей с помощью испарения. Как правило, в качестве удаляемой жидкости выступает влага или летучие органические растворители.

В современной промышленности строительных материалов используются чрезвычайно разнообразные конструкции сушильных установок. Их схемы и отдельные элементы конструкции определяются в основном геометрическими размерами высушиваемого материала и изделий, его физическими и химическими свойствами, а также режимом работы (непрерывного или периодического действия), видом и параметрами сушильного агрегата[1].

Для равномерного питания материалом сушильных барабанов используются различные конструкции питателей, которые отличаются друг от друга по своим режимам работы. Исходя из технологического процесса, большинство механизмов этих питателей нуждаются в изменении диапазона регулирования скорости от 1:2 до 1:10, для обеспечения нужного качества и количества продукции. Так, для питателей различного типа, применяемых на различных производствах, необходимо регулирование скорости в переделах 1:3 до 1:15, поскольку этого требует технологический процесс[2]. В настоящее время для данных механизмов либо вообще не применяется регулирование скорости, либо используются многоскоростные асинхронные двигатели, механические вариаторы или сменные шкивы с различными передаточными числами. Это в значительной степени сдерживает внедрение высокопроизводительных непрерывных технологических процессов и не позволяет в полной мере осуществить их комплексную автоматизацию. Использование регулируемого электропривода во множестве случаев, приводит не только к увеличению количества выпускаемой продукции и улучшению её качества, но и к значительной экономии электроэнергии.

В настоящее время электрический привод для большого количества механизмов может быть реализован на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, управляемым от статического преобразователя частоты. Регулирование скорости изменением частоты питающей сети можно осуществлять плавно, в широком диапазоне, а так же выше и ниже естественной характеристики. На ряду с этим регулировочные характеристики имеют высокую жёсткость, а двигатель сохраняет большую перегрузочную способность [3]. За счет высоких характеристик, регулирование изменением частоты имеет все более широкое применение. К тому же, на производствах, система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД), является одним из возможных способов создания регулируемого электропривода. В сравнении с приводом постоянного тока система ПЧ-АД имеет свои достоинства, такие как простота в эксплуатации и настройке, так же есть недостаток – большая стоимость преобразователя частоты.

В данной статье рассматривается механизм скребкового питателя для сушильного барабана с электроприводом переменного тока на основе системы преобразователя частоты – асинхронного двигателя.

Питатель скребковый протирочный ПСП предназначен для равномерной подачи, разрыхления и загрузки в сушильные барабаны влажных частиц крупностью до 40 мм и влажностью до 30% [4].

Питатель – это механизм непрерывного действия, с главным рабочим цепь с размещёнными на ней скребками, представляющий собой две пластинчатые втулочные цепи, связанные между собой скребками.

В движение цепь приводит приводной вал с двумя восьми зубчатыми звездочками, который установлен на приводной секции.

Скребковый питатель герметичен. Соединение секций между собой производится за счет фланцев, для большей герметичности между ними укладываются прокладки из асбеста.

Секция имеет вид закрытого желоба сварной конструкции. Внутри секции расположены нижние и верхние направляющие полосы, по которым передвигается тяговая цепь со скребками. Для устранения возможности загиба тяговой цепи в вертикальной плоскости, в связи со сходом её с тяговых звездочек, над направляющими сверху установлены ограничители.

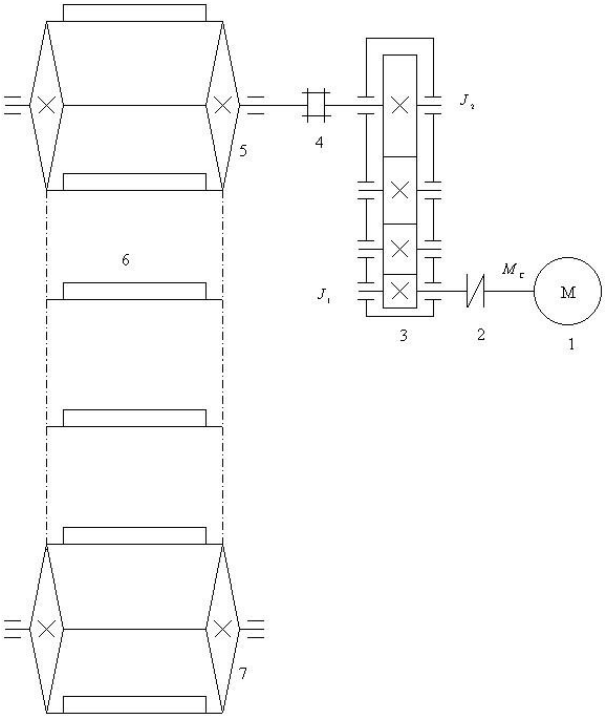


Рис. 1 – Кинематическая схема привода питателя.
1 – двигатель; 2 – муфта упругая МУВП1 – 48; 3 – редуктор ЦТНД – 500; 4 – муфта жесткая; 5 – приводной вал с ведущими звёздочками; 6 – тяговая цепь со скребками; 7 – ведомый вал.

Приводная секция представляет собой сварную металлическую конструкцию, которая состоит из корпуса со смотровыми и разгрузочными люками. На секции монтируется приводной вал с подшипниками и тяговыми звёздочками[5].

Натяжная секция является сварной металлической конструкцией, которая состоит из герметичного корпуса, вала и натяжного устройства, верхней постели имеющей неподвижную решетку. Натяжная секция имеет люк для удобного монтажа, осуществления ремонта и замены верхней постели, тяговой цепи с расположенными на ней скребками и направляющих полос.

Натяжение тяговой цепи осуществляется с помощью натяжного устройства с двумя винтами для натяжения. Величина натяга составляет

350мм. Для того, чтобы не нарушалась герметичность питателя, натяжной вал снабжён уплотнительными устройствами.

В секции натяжения находится четыре люка, предназначенных для визуального осмотра внутренней части секции, и удобства проведения монтажных и ремонтных работ тяговой цепи со скребками, направляющих полос трения и верхней постели.

Длина питателя обусловлена расстоянием от оси бункера до точки загрузки сушильного барабана и может составлять от 3,5 до 6,5м.

Электрическая часть питателя разработана для его эксплуатации в условиях помещений класса В – Iа. Электрооборудование, установленное в месте размещения питателя, выполнено взрывозащищенным.

На предприятиях в питатель работает в тяжелых условиях, в связи с этим к его эксплуатации предъявляют особые требования.

Необходим регулярный надзор, чистка также своевременный профилактический ремонт обеспечивает безотказную работу питателя.

Таким образом, привод питателя состоит из четырёхскоростного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа ВАО–92–12/8/6/4 и трёхступенчатого редуктора типа ЦТНД-500.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пищулин В.П. Изучение процесса сушки: практическое руководство/ Пищулин В.П. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – 25с.

2. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок: учеб. для высш. техн. учеб. заведений. М. – Л., 320с.

3. Питатель скребковый протирочный ПСП для загрузки сушильных барабанов. Руководство по эксплуатации. 1985.

4. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М: Издательский центр «Академия», 2014.- 576 с.

5. Анциферов С.И., Карачевцева А.В, Разиньков Н.В., Запара У.И. Направления совершенствования конструкции сушильных барабанов // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXIII. – 2024. – С. 19-24

УДК 691.5:568.27

Алешкин К.К., Исса Ю.М., Науменко В.В., Белозерских И.В.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО УСТРОЙСТВА СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА

Производство цемента играет важную роль в создании материально-технической базы страны, развитии массового производства прогрессивных строительных конструкций и деталей.

В современных условиях основным направлением развития отрасли является ускорение темпов научно-технического прогресса и широкое внедрение его достижений в производство. Внедрение специально новых энергосберегающих технологий; высокопроизводительного оборудования с автоматическим управлением способствует значительному улучшению технико-экономических показателей отрасли[1].

Для повышения эффективности работы барабанных сушилок, разрабатывается большое количество модернизаций, связанных с совершенствованием конструкций оборудования, видом сушильного агента и способа подачи его в барабан. Также исследуются новые способы, связанные с вторичным использованием дорогостоящей тепловой энергии[2].

Рассматривая сушильное оборудование с точки зрения совершенствования конструкции, наиболее часто разработчики прибегают к изменению геометрии и особенностей установки пересыпных лопастей, для достижения равномерного распределения материала и его интенсивного перемешивания в процессе сушки.

Сущность данной разработки заключается в том, что с целью повышения эффективности теплообмена и надежности в работе, в сушильный барабан устанавливаются продолговатые теплообменные элементы из параллельных пластин[3].

Изобретение относится к технике теплообмена в сушильных барабанах и может быть использовано в строительной индустрии.

Цель изобретения – повышение эффективности теплообмена и надежности в работе.

На фигуре 1 показан теплообменник, продольный разрез, на фигуре 2 – разрез А-А на фигуре 1 (в двух вариантах).

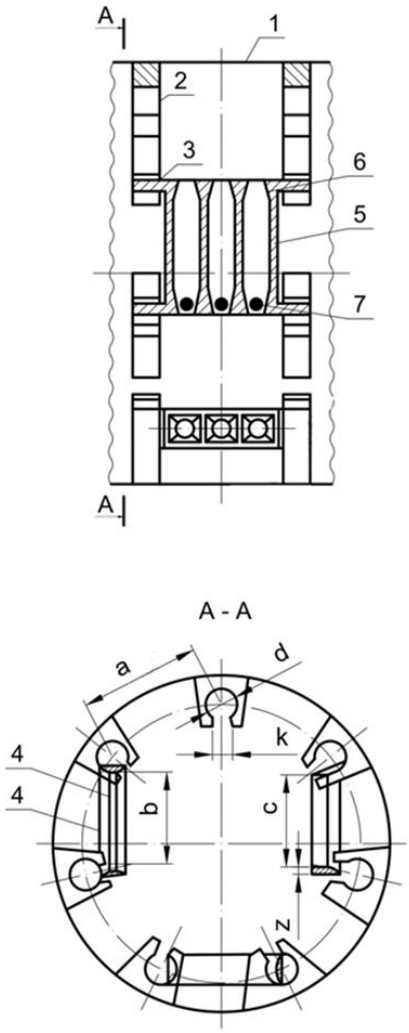


Рис.1. Теплообменник сушильного барабана.
1 – корпус сушильного барабана, 2 – кронштейн, 3 – сегментные оси, 4,5 – теплообменные элементы, 6 – седла, 7 – шаровые клапаны.

Внутри сушильного барабана 1 на кронштейнах 2 с помощью сегментных осей 3 подвешены теплообменные элементы, которые могут быть выполнены в виде пластин 4 или полых элементов 5 с седлами с обеих сторон и свободно расположенными между каждой парой седел 6 шаровыми клапанами 7. Количество теплообменных элементов по окружности берут в зависимости от расстояния, а между кронштейнами 2 по такому расчету: разделив окружность на нечетное количество частей, получают число n (для фигуры 2 число n = 7). Количество элементов по окружности: z = (n - 1) / 2 (для фигуры 2 z = 3). Размер α берут, кроме того, с учетом температуры горячих газов и жаростойкости материала, из которого сделаны элементы (чем выше температура, тем меньше размер α, тем короче элементы и они лучше погружаются в материал в нижнем положении и охлаждаются им). Размер d определяют расчетом на заданную износостойкость пары кронштейнов 2 от веса элементов и сегментных осей 3 при взаимном проворачивании[4].

Желательно размер d брать не менее 100 мм для того, чтобы получить достаточный размер прорези k в кронштейнах 2, который должен обеспечить выход через него осей 3 с учетом теплового удлинения элементов. Размер хорды сегментной оси 3 определяют размером 1 и берут больше размера k прорези для того, чтобы оси 3 с элементами в верхнем положении не вышли через прорезь k. Размер с теплообменных элементов определяют в зависимости от размера b = a – d и берут больше него на величину, определяемую с помощью кинематических построений и обеспечивающую при провисании элементов на верхнем кронштейне 2 выход (вход) нижней оси 3 через прорезь k с учетом теплового увеличения размера c. Высоту кронштейнов 2 по радиусу берут минимально возможной. Размеры элементов вдоль оси барабана 1 определяют из монтажных соображений, чтобы вес элементов был не очень большим. Количество пластин 4 в одном элементе берут максимальным, с учетом теплового расчета и прохода комьев материала между ними без забивания. Сечение полых элементов 5 берут из условия поднятия заданного количества материала. Размер седел 6 берут из условия заполнения – опорожнения элементов 5 материалом в нижнем положении. Количество пар седел берут в зависимости от длины элементов 5 в осевом направлении, причем перегородки между парами седел 6 могут быть не сплошные, лишь бы шары 7 не могли переходить в осевое направление. Диаметр шаров 7 берут из условия исключения выхода

через седла 6. Остальные размеры определяют конструктивно и проверяют на прочность и работоспособность[5].

Теплообменник работает следующим образом:

В верхнем положении элементы провисают на осях 3 и прогреваются горячими газами вместе с материалом в элементах 5, которые одновременно защищают их от сгорания. При дальнейшем вращении нижние оси 3 через прорези k входят в отверстия кронштейнов 2, и, лежа на двух парах кронштейнов 2, элементы входят в слой материала и отдают ему тепло. При дальнейшем вращении и подъеме первой по ходу вращения пары кронштейнов 2, элементы своими осями 3 проскальзывают на величину c – b в них и начинают подниматься, при этом материал из элементов 5 высыпается, пары 7 ложатся в седла 6, перекрывают их, и элементы 5 заполняются новым материалом. Затем нижние оси 3 выходят из прорезей k кронштейнов 2, и процесс повторяется.

Применение теплообменника повышает эффективность теплообмена за счет увеличения поверхности в элементах из пластин 4, или подъема большого количества материалов в элементах 5, что приводит к экономии топлива.

Таким образом, исключение проскальзывания элементов по корпусу барабана 1 повышает надежность в работе, что приводит к уменьшению расходов на ремонты и увеличению выпуска продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок: учеб. для высш. техн. учеб. заведений. М. – Л., 320с.

2. Питатель скребковый протирочный ПСП для загрузки сушильных барабанов. Руководство по эксплуатации. 1985.

3. Пищулин В.П. Изучение процесса сушки: практическое руководство/ Пищулин В.П. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – 25с.

4. Анциферов С.И., Карачевцева А.В, Разиньков Н.В., Запара У.И. Направления совершенствования конструкции сушильных барабанов // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXIII. – 2024. – С. 19-24

5. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных

механизмов и технологических комплексов. М: Издательский центр «Академия», 2014.- 576 с.

УДК 658.8

Андреева С.О.
Научный руководитель: Семыкина А.С. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

Эффективность отечественного хозяйства в настоящее время во многом зависит от степени оптимальности выстроенных процессов транспортировки товаров из оной точки в другую.

Преимущественно логистическая составляющая составляет основной объем общих затрат в цепях поставок: на нынешнем этапе развития логистики в стране на нее приходится примерно 45-70 % всех затрат, и мировая практика показывает аналогичную картину во многих государствах. По этой причине снижение расходов на перевозку и на сопутствующие логистические операции становится не частной задачей отдельных компаний, а одним из базовых условий развития транспортной логистики в целом [3].

Статистические данные по перевозкам грузов различными видами транспорта в динамике за 2023-2025 гг. представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Перевозки грузов по видам транспорта (млн. тонн)

Транспорт	Годы			Изменение (+,-)	
	2023	2024	2025	2024/ 2023	2025/ 2024
Транспорт – всего	8073	8265	8419	192	154
в т.ч. железнодорожный	1384	1411	1379	27	-32
автомобильный	5404	5544	5735	140	191
трубопроводный, в т.ч.:	1138	1169	1159	31	-10
С газопроводный	549	566	579	13	13
нефтепроводный	553	561	532	8	-29
нефтепродуктопроводный	36	42	43	14	-1
морской	26	23	18,4	-3	-4,6
внутренний водный	119	116	127	-3	11
воздушный	1,3	1,3	1,0	-	-0,3

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что грузооборот российского транспорта показывает стабильный рост на протяжении всего исследуемого периода.

Особенно заметна роль транспортной логистики в региональных, общенациональных и международных системах, где управление цепями поставок приобретает все большее значение.

Цель поставок включает в себя следующие элементы:

– поставщики;

– производители;

– склады;

– транспортные службы;

– розничные и оптовые сети, маркетплейсы;

– конечный потребитель.

Цепь поставок является не только системой взаимосвязанных участников осуществляющих процесс перемещения ресурсов, но и интегрированной совокупностью потоков и операций, гарантирующих комплексное обслуживание на любом логистическом этапе и направленных на удовлетворение потребностей покупателей относительно материальных ценностей и услуг [5].

В рамках данной структуры транспортировка товаров является ключевым логистическим процессом, так как она гарантирует материальное передвижение ресурсов, компонентов и готовой продукции посредством определенных методов технологий, а также и средств передвижения.

Исходя из числа участников логистической цепочки, выделяют различные уровни: прямая, расширенная и многофункциональная. Схематичное изображение функционирования цепей поставок при транспортировке представлено на рисунке 1.

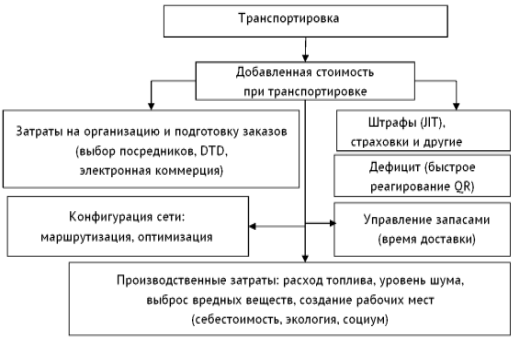


Рис. 1. Функционирование цепей поставок при транспортировке

Обслуживание современных логистических цепочек реализуется через любые доступные средства передвижения (виды транспорта), тем не менее в текущей российской финансовой ситуации приоритетным методом доставки грузов продолжает все еще выступать перевозка автомобильным транспортом [4].

На сегодняшний день технологии поставок грузов руководствуются методами, отраженными на рисунке 2.

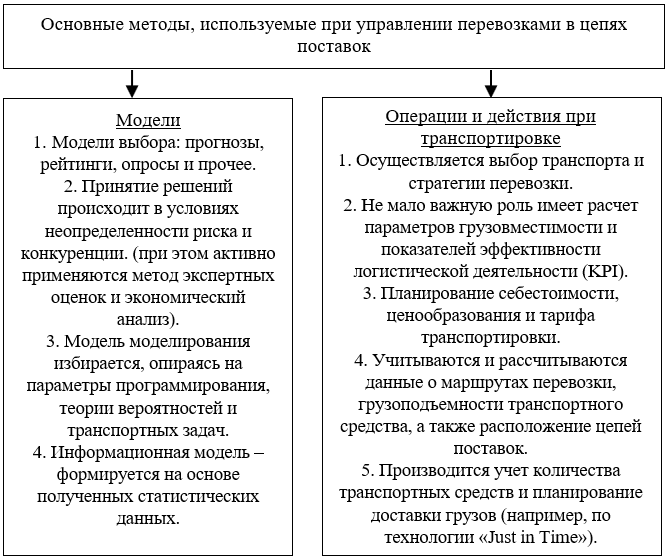


Рис. 2. Основные методы, используемые при управлении перевозками в цепях поставок

Эффективное продвижение продукции по логистической сети возможно лишь тогда, когда сама перевозка и все операции, сопровождающие доставку, выполняются согласованно и без разрывов [1].

Укрепление финансовой стабильности государства, развитие рыночных позиций и уменьшение влияния зарубежных факторов достигаются путем совершенствования логистических операций, способствующих улучшению операционной деятельности организаций.

Подобная ситуация приобретает особую значимость из-за повышенного интереса к грузоперевозкам. Повышение эффективности достижимо исключительно посредством совокупного анализа технических условий и организационной деятельности.

Ключевыми факторами успеха выступают технологичность оборудования, чистота рабочих зон, объединение функций снабжения в единый отдел, автоматизация хранения, регулярное накопление данных для изучения показателей, модернизация автопарка, непрерывное обучение сотрудников, эффективная помощь коллективу и профессионализм служб управления в цепях поставок [6].

Структура издержек различных видов транспорта представлена на рисунке 3.

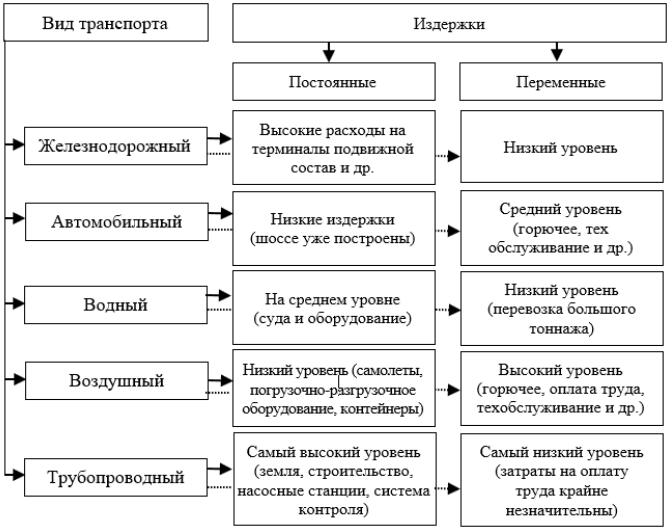


Рис. 3. Структура издержек различных видов транспорта

Возможность гарантировать стабильные поставки сырья вместе с грамотно выстроенной системой сбыта товаров формирует весомый рыночное преимущество перевозчика и транспортной организации. Внедрение электронных технологий в совокупности с соблюдением установленных правил составляет основу оптимизации логистических операций. Внедрение систем навигации, разработка софта для подбора грузоперевозок, применение контрольно-измерительной аппаратуры, оснащение транспорта средствами поддержания температурного режима, оптимизация путевых траекторий и контроль за соблюдением нормирования рабочего времени водителей-экспедиторов составляют суть совершенствования перевозочного процесса [2].

Таким образом, оптимизация процессов транспортировки в цепях поставок требует углубления компетенций по грамотному составлению

сопроводительных документов, модернизации фундаментальных принципов снабжения, а также создания цифровых решений, позволяющих мониторить интенсивность использования логистических каналов и перераспределять потоки на менее загруженные участки. Модернизация транспортной составляющей ускоряет доставку, уменьшает общие логистические издержки и делает цепи поставок более гибкими, организованными и устойчивыми.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутенко, Ю.Н. Общие сведения и перспективы развития интеллектуальных транспортных систем в России / Ю.Н. Бутенко, Р.Б. Ковшарова, А.Г. Шевцова, Ю.В. Семикопенко // Альтернативные транспортные технолгии. – 2020. – № 1 (7). – С. 18-22.

2. Загородний, Н.А. Применение автономных автомобилей в логистике: эффективность, проблемы и перспективы / А.А. Конев, И.А. Новиков, Н.А. Загородний // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-4 (89). – С. 136-141.

3. Крылатков, П.П. Управление цепью поставок: учебное пособие / П.П. Крылатков, М. А. Прилуцкая. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2024. – 140 с.

4. Носков, А.А. Методы оценки эффективности транспортно-логистических операций в цепях поставок. СПб.: С.-Петербург, 2022 –110 с.

5. Семыкина, А.С. Критерии оценки рационального периода эксплуатации транспортных средств / А.С. Семыкина, Н.А. Загородний, Д.О. Ломакин // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – 2-2 (89). – С. 56-61.

6. Сергунинова, Е.А. Управление цепями поставок: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2021. – 127 с.

7. Шатова, Ю.С. Ресурсосбережение на автомобильном транспорте / Ю.С. Шатова, Е.Д. Семенова, Ю.В. Семикопенко // Инновационная наука. 2020. - № 12. – С. 56-57.

УДК 621.791

Анисимов И.С., Анисимов Н.С.
Научный руководитель: Ласточкин Д.М., канд. техн. наук, доц.
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦЕНТРИРОВАНИИ ТОРЦОВ ТРУБ ГАЗО-НЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ СВАРКЕ

Функционирование глобального энергетического рынка базируется на эксплуатации протяженных трубопроводных систем транспортировки углеводородов. Учитывая высокую значимость отрасли, обеспечение целостности трубопроводов является приоритетной задачей. Ресурс и безаварийность данных систем определяются качеством монтажа, где критическим узлом являются сварные соединения, требующие строгого контроля исполнения [1].

Сварка выступает ключевой технологией при монтаже и реконструкции трубопроводных систем нефтегазового сектора. Учитывая, что малейшие нарушения целостности сварных соединений чреваты техногенными авариями, экологическим ущербом и серьезными финансовыми издержками, приоритетным направлением деятельности является непрерывная модернизация сварочных процессов и технологий подготовки кромок труб [2, 3, 4, 5].

Основной проблемой при монтаже газонефте проводов является обеспечение соосности (центрации) труб при сварке. От этого же зависит и качество сварных швов [6].

На базе анализа патентной документации и профильной научно-технической литературы была проведена оценка конструктивных и функциональных особенностей существующих центраторов для стыковой сварки нефтегазопроводов. В ходе исследования выявлен ряд критических недостатков: конструктивная сложность, высокая металлоемкость, значительная масса оборудования, а также низкая производительность при выполнении центровочных операций. С целью устранения указанных проблем разработана усовершенствованная конструкция устройства [7, 8, 9].

Цель работы: модернизировать существующие устройства для центрировании торцов труб газо-нефтепроводов при сварке в стык с простой конструкцией, не высокой металлоемкостью, незначительной массой, а также с высокой производительностью при выполнении центровочных операций.

Предложенная модернизированная устройство для центрирования труб (Рис. 1) состоит из нескольких модулей [10].

Несущая рама: основа устройства, объединяющая левую 1 и правую 2 обоймы в единую жесткую конструкцию 3.

Зажимные обоймы (левая и правая).

Корпусные элементы: состоят из П-образного нижнего основания 4 и П-образной крышки 5, соединенных между собой шарнирным узлом 6.

Базирующий узел: Внутри нижнего основания 4 неподвижно зафиксирован V-образный желоб 7 для позиционирования трубы.

Прижимной механизм: В центре верхней крышки 5 расположен штурвал 9, установленный посредством резьбового соединения 8 для обеспечения фиксации трубы.

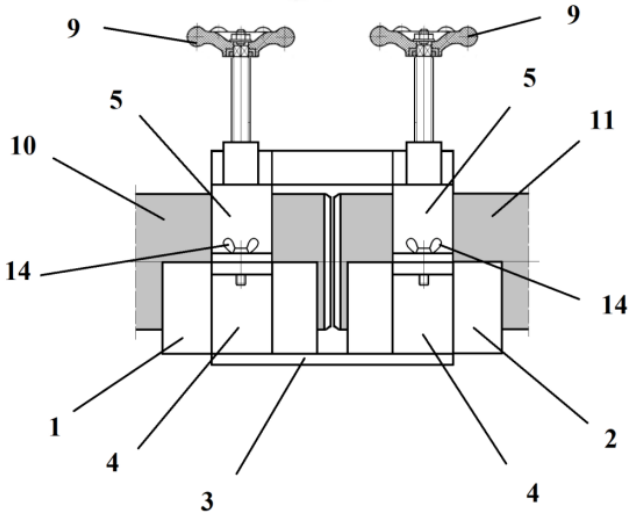
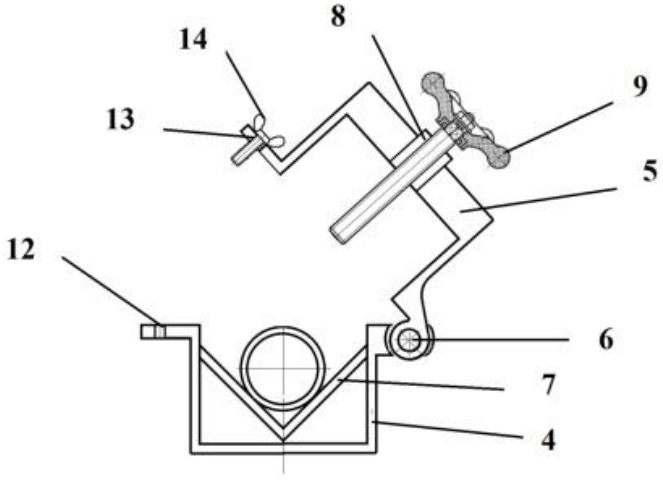


Рис. 1 Устройство для центрирования торцов труб при сварке:
1 – левая обойма, 2 – правая обойма, 3 – рама, 4 - нижнее основание П-образной формы, 5 - верхняя крышка П-образной формы, 6 – шарнир, 7 - V-образный желоб, 8, 12, 13 – резьбовые соединения, 9 – штурвал, 10, 11 – свариваемые трубы, 14 - барашки

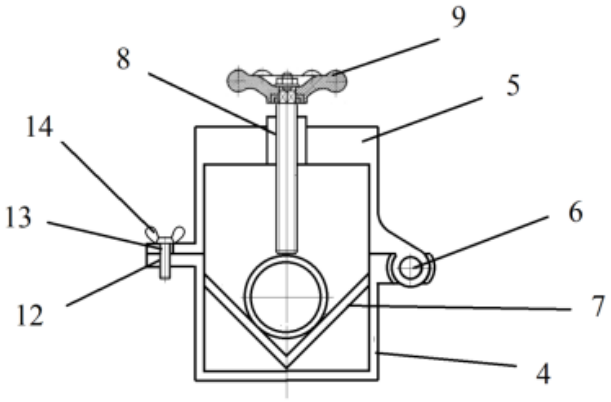
Функционирование устройства происходит поэтапно.

Сначала крышки 5 обеих обойм откидываются вправо, открывая доступ к V-образным желобам 7, куда укладываются трубы 10 и 11 (Рис. 2 а). Затем крышки возвращаются в закрытое положение (рис. 2 б).

Надежное закрепление труб достигается за счет затягивания барашков 14 в резьбовых узлах 12 и 13. Точная центровка деталей выполняется штурвалами 9, после чего можно начинать сварочные работы.



а)



б)

Рис. 2 Принцип работы:
а – исходное положение, б – рабочее положение

Вывод. Предложенное техническое решение обеспечивает:

1. оптимизацию конструкции,

2. снижение материалоемкости

3.веса изделия.

Кроме того, достигается сокращение временных затрат на выполнение операций по центрированию и обеспечению соосности труб при проведении стыковой сварки.

Внедрение данной конструкции позволяет упростить устройство, уменьшить его массу и расход материалов, а также существенно облегчить процесс подготовки труб к сварке встык за счет упрощения процедур центровки и тем самым повысить производительность при выполнении центровочных операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силин А.Н. Западно-Сибирский нефтегазовый комплекс - ядро ТЭК и основа устойчивого развития России // Топливно-энергетический комплекс России: актуальные проблемы и стратегия развития. Пенза. 2014. С. 3 – 9.

2. Сварочные и родственные технологии при строительстве, реконструкции и ремонте газо-нефтепроводов // Территория Нефтегаз. 2007. № 12. С. 74-75.

3. Дейнеко С.В. Обеспечение технологической и конструктивной надежности систем трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. Учебное пособие. Москва 2019. 248 с.

4. Горшкова О.О. Сварка магистральных нефте- и газопроводов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 7-11. DOI: 10.17513/snt.37906.

5. Мелентьев С.В., Литвинова В.А., Клопотов А.А., Кондратьева Н.М., Глотов С.А. Сварка и монтаж магистральных трубопроводов. Учебное пособие. Томск. 2022.

6. Кузьмичев Н.П. Проблемы внедрения инноваций в нефтяной отрасли промышленности Татарстана и возможные пути их решения // Георесурсы. 2011. № 3 (39). С. 36-39.

7. Полезная модель к патенту № 204648 Российская федерация, МПК F16L 1/10, B23K 37/04. Устройство для центрирования торцов труб при сварке / Губеров С.М. заявитель и патентообладатель «Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина», заявл. 12.04.2021, опубл. 02.06.2021. Бюл. № 16.

8. Полезная модель к патенту № 215800 Российская федерация, МПК B23K 37/053. Устройство для центрирования трубы под сварку /

Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Равзутдинов М.Г., Михайлов Р.А., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ГазпромТрансГаз Казань», заявл. 22.09.2022, опубл. 28.12.2022. Бюл. № 1.

9. Патент №215800 Российская федерация, МПК B27L 11/02. Центратор для сварки труб / Семёнов А.Н., Тюрин В.Н., Шевелёв Г.Н., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежаля», заявл. 05.05.2003, опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.

10. Заявка на изобретение РФ № 2026122870, МПК B23K 37/053 Устройство для центрации труб при сварке / Анисимов Н.С., Анисимов И.С., Царев Е.М., Макаров В.Е., Ласточкин Д.М., Багаутдинов И.Н., Анисимов С.Е., заявитель и патентообладатель ПГТУ, дата поступления (дата регистрации) 22.07.2026.

УДК 621.791

Анисимов Н.С., Анисимов И.С.
Научный руководитель: Багаутдинов И.Н., канд. техн. наук, доц.
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола, Россия

ИНЖИНИРОНГОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ТОРЦОВ ТРУБ НЕФТЕ- ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ

В основе государственной повестки любой страны лежат задачи экономического развития и оптимизации производственных процессов. В российском контексте промышленный потенциал неразрывно связан с нефтегазовым сектором. Исторически сложилось, что предприятия этой отрасли являются системообразующими: их деятельность определяет не только макроэкономическую стабильность России, но и динамику мировых энергетических рынков [1].

Нефтегазовые месторождения различного масштаба рассредоточены по всей территории России, что делает проблему их транспортировки ключевой задачей отрасли. Наиболее экономически эффективным способом доставки углеводородов признан трубопроводный транспорт. Его основные преимущества:

1. минимальным операционным затратам и себестоимости;
2. возможности одновременной перекачки разных сортов сырья;

3. высокой сохранности продукта (минимальные потери);

4. стабильности поставок, не зависящей от климата

Благодаря этим преимуществам, свыше 90% российской нефти и газа транспортируется именно по трубопроводам [2].

Сварка – фундамент, основа при строительстве и ремонте трубопроводов в нефтегазовой отрасли. Учитывая критическую важность герметичности соединений для предотвращения аварий, экологических катастроф и экономических потерь, совершенствование технологий сварки и подготовки кромок труб остается приоритетной задачей [3, 4, 5].

Ключевым фактором, определяющим качество сварного шва при монтаже трубопроводов, является точность соосности при центровки труб [6]. Анализ существующих технических решений и патентных источников показал, что основная технологическая сложность при монтаже заключается в обеспечении точной центровки труб. Зачастую применяемые в настоящее время центраторы *избыточно тяжелы*, *сложны в эксплуатации* и как следствие *недостаточно производительны*. [7, 8, 9].

Целью исследования создание усовершенствованного центрирующего устройства для сварки труб в нефтегазовом секторе на основе проведенного анализа и синтеза конструктивных элементов существующих центрирующих устройств.

Устройство для центрирования труб состоит из следующих элементов (Рис. 1) [10].

Корпус: основание 3 с жестко закрепленными П-образными обоймами (левая 1 и правая 2).

Опорные элементы: треугольные желоба 4 и 5, расположенные внутри обойм для укладки труб 6 и 7.

Механизм центрирования: в нижней части каждого желоба выполнены по два резьбовых отверстия (8, 9 — в левом; 10, 11 — в правом). В них установлены регулировочные болты (12, 13 и 12-1, 13-1), обеспечивающие соосность труб при их стыковке.

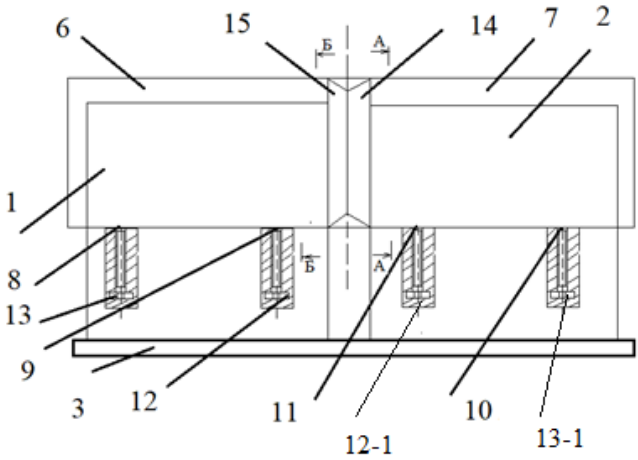


Рис. 1 Центратор торцов труб газо-нефтепроводов при сварке в стык:
1 - левой П-образная обойма, 2 – правая П-образная обойма,
3 – основание, 4, 5 - желоба треугольной формы, 6, 7 – трубы,
8, 9, 10, 11 – отверстия с резьбой, 12, 13, 12-1, 13-1 – болты,
14, 15 – фаски

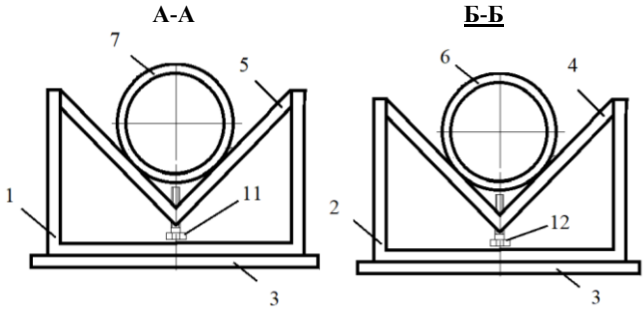
Алгоритм работы устройства.

1. Труба 6 размещается в желобе 4 левой обоймы 1, а труба 7 – в желобе 5 правой обоймы 2 (Рис. 2 а, б).

2. Положение труб фиксируется таким образом, чтобы фаска 14 трубы 7 и фаска 15 трубы 6 были соосны.

3. Юстировка (центрирование) фасок 14 и 15 осуществляется посредством регулировочных болтов 12-1, 13-1 (правая обойма) и 12, 13 (левая обойма).

После завершения центровки выполняется стыковая сварка торцов труб.



а) б)

Рис. 2 Центратор торцов труб газо-нефтепроводов при сварке в стык
а - сечение А-А правой обоймы центратора торцов труб, б - сечение Б-Б левой обоймы центратора торцов труб

Чтобы упростить совмещение фасок 14 и 15 при продольной подаче труб 6 и 7, конструкцией предусмотрены шаровые опоры 16. Они выступают над внутренними поверхностями желобов 4 и 5; по три опоры с каждой стороны желоба гарантируют точное позиционирование деталей (Рис. 3).

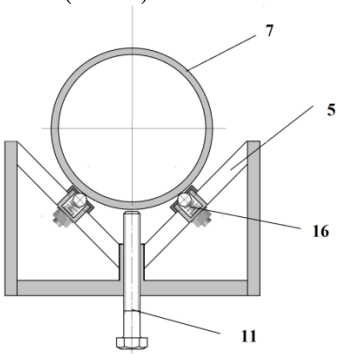


Рис. 3 Установка шаровых опор на внутренних поверхностях желобов (вид сбоку справа левой обоймы)

Вывод. Данная конструкция обладает следующими эксплуатационными преимуществами.

Высокая точность: независимая регулировка каждой трубы позволяет компенсировать отклонения в их геометрии (овальность, разностенность).

Стабильность: жесткая рамная конструкция минимизирует вибрации и смещения в процессе прихватки и сварки стыка.

Универсальность: простота механизма позволяет оперативно перенастраивать устройство под трубы разного типоразмера без использования сложной оснастки

Применение предложенного устройства позволяет существенно повысить качество сварного шва, исключить перекосы при сборке и сократить время на подготовительные операции перед сваркой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назарова Ю.А., Лышко А.А., Горюнов И.О. Современное состояние и перспективы развития нефтегазовой отрасли в контексте обеспечения экономической безопасности // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. № 3. С. 75-87.
2. Абдурасулов Б.Б. Специфика нефтегазовой отрасли РФ и ее значение на мировом рынке // Modern Science. 2020. № 2–1. С. 335–339.
3. Горшкова О.О. Сварка магистральных нефте- и газопроводов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 7-11.
4. Сварочные и родственные технологии при строительстве, реконструкции и ремонте газо-нефтепроводов // Территория Нефтегаз. 2007. № 12. С. 74-75.
5. Горшкова О.О. Сварка магистральных нефте- и газопроводов // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 7-11. DOI: 10.17513/snt.37906.
6. Кузьмичев Н.П. Проблемы внедрения инноваций в нефтяной отрасли промышленности Татарстана и возможные пути их решения // Георесурсы. 2011. № 3 (39). С. 36-39.
7. Полезная модель к патенту № 204648 Российская федерация, МПК F16L 1/10, B23K 37/04. Устройство для центрирования торцов труб при сварке / Губеров С.М. заявитель и патентообладатель «Публичное акционерное общество «Татнефть» имени В.Д. Шашина», заявл. 12.04.2021, опубл. 02.06.2021. Бюл. № 16.
8. Полезная модель к патенту № 215800 Российская федерация, МПК B23K 37/053. Устройство для центрирования трубы под сварку / Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Равзутдинов М.Г., Михайлов Р.А., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ГазпромТрансГаз Казань», заявл. 22.09.2022, опубл. 28.12.2022. Бюл. № 1.
9. Патент №215800 Российская федерация, МПК B27L 11/02.

Центратор для сварки труб / Семёнов А.Н., Тюрин В.Н., Шевелёв Г.Н., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н.А. Доллежаля», заявл. 05.05.2003, опубл. 27.06.2004. Бюл. № 18.

10. Заявка на изобретение РФ № 2026122933, МПК B23K 37/053 Устройство для центрации труб при сварке / Анисимов Н.С., Анисимов И.С., Царев Е.М., Макаров В.Е., Ласточкин Д.М., Багаутдинов И.Н., Анисимов С.Е., заявитель и патентообладатель ПГТУ, дата поступления (дата регистрации) 23.07.2026.

УДК 621.865.8

Анисимова В.В., Величко К.А., Уваров М.Д.
Научный руководитель: Бажанов А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПАКОВКИ ПРОДУКЦИИ БЕЗ ПОДДОНА

Стремительная автоматизация производственных процессов в современной промышленности направлена не только на замену ручного труда, но и на поиск принципиально новых логистических решений, включая оптимизацию упаковки. Традиционные методы паллетирования, предполагающие использование деревянных поддонов, сопряжены со значительными эксплуатационными расходами: стоимостью самой тары, затратами на её ремонт, санитарную обработку и последующую утилизацию. В связи с этим промышленность испытывает потребность в переходе на технологию упаковки без поддона, обеспечивающую высокую экономическую эффективность и экологичность производства [1].

Для решения задач паллетизации в таких линиях наиболее рациональным является использование манипуляторов с 5-осевой кинематической схемой. Поскольку груз перемещается в строго горизонтальном положении, шестая ось становится избыточной; это упрощает решение обратной задачи кинематики, снижает вычислительную нагрузку на контроллер и повышает надежность системы [2].

Основная сложность при внедрении таких систем заключается в необходимости обеспечения согласованной работы нескольких

исполнительных механизмов в ограниченном пространстве. Чтобы выйти на заданную производительность, в линии задействуют несколько манипуляторов. При этом подготовка основания и укладка продукции выполняются разными единицами оборудования, не зависящими друг от друга [3].

Работа такой системы строится на двух параллельных контурах управления. Первый контур отвечает за формирование основания: манипулятор захватывает опорные элементы (бруски либо специализированные подложки) и позиционирует их. Второй контур – укладочный. Манипулятор снимает готовые изделия с подводящего конвейера и переносит их на уже подготовленное основание, действуя по заложенной программной схеме. Основная техническая трудность здесь – пересечение рабочих зон обоих манипуляторов (Рис. 1). Там, где зоны соприкасаются, возникает угроза механического столкновения, а это уже риск серьёзных повреждений и долгого простоя линии. Значит, нужна надёжная система контроля и продуманный алгоритм, по которому роботы будут взаимодействовать в общей рабочей зоне [4].

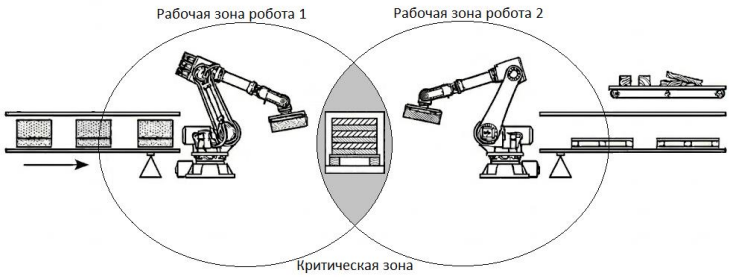


Рис. 1. Критическая зона

Для реализации описанных преимуществ был разработан алгоритм управления, который обеспечивает взаимодействие исполнительных устройств. Алгоритм строго распределяет задачи: Манипулятор 1 отвечает за расстановку опорных элементов и, при необходимости, выполнение подпрограммы удаления пустого поддона на рольганг, в то время как Манипулятор 2 осуществляет укладку продукции (Рис. 2).

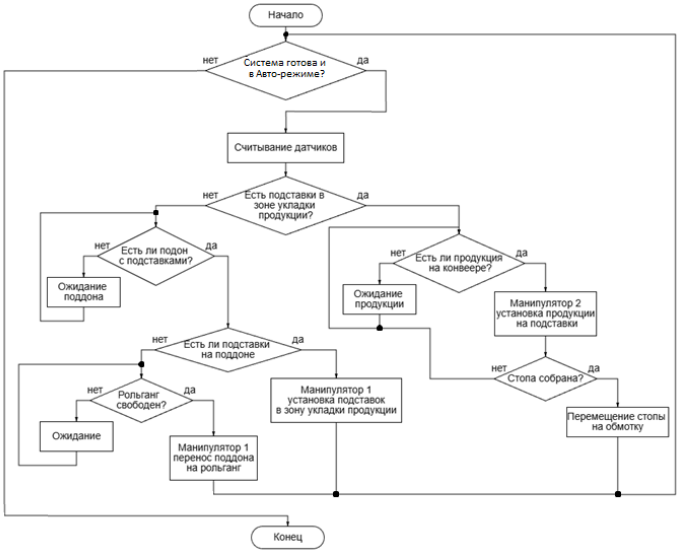


Рис. 2. Алгоритм управления

Для проверки разработанного алгоритма в работе применен аппарат сетей Петри.

Сети Петри представляют собой универсальный графический и математический инструмент, предназначенный для моделирования и анализа динамических систем с параллельными процессами. В отличие от обычных блок-схем, данный метод позволяет представить систему как совокупность условий и событий, взаимодействие которых определяется перемещением маркеров [5].

В рамках данной задачи был построен граф сети Петри, описывающий взаимодействие двух манипуляторов при работе в общей (критической) зоне (Рис. 3).

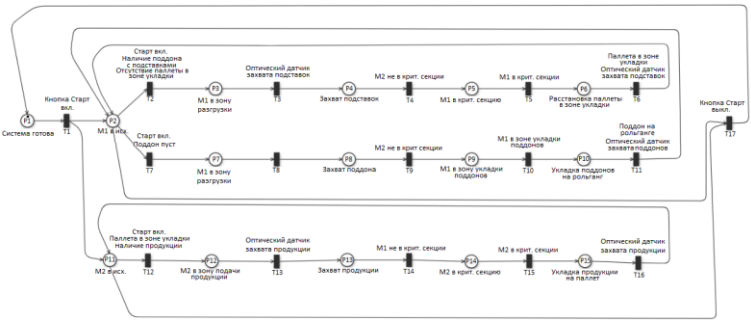


Рис. 3. Граф сети Петри алгоритма синхронизации манипуляторов

Данная модель демонстрирует механизм синхронизации: она фиксирует состояния готовности каждого робота, моменты захвата ресурсов и логику взаимного исключения. Построенный граф позволяет проанализировать все возможные состояния системы и гарантировать, что при любых сценариях работы манипуляторы не окажутся в общей зоне одновременно.

Формализованная модель даёт возможность ещё на этапе написания управляющей программы выявить и снять возможные взаимные блокировки манипуляторов – случаи, когда оба робота замирают в критической зоне, ожидая друг от друга следующего шага.

Экономический эффект от таких решений в значительной мере обеспечивается снижением текущих затрат. Бесподдонная упаковка убирает необходимость постоянно закупать возвратную тару, ремонтировать её и утилизировать. Если вместо деревянных поддонов использовать недорогие расходники и полимерную плёнку, экономия на упаковочных материалах достигает 70–80%. Вес упакованного груза падает, поэтому полезная загрузка транспорта растёт на 5–10%, а логистика обходится дешевле. Плюс автоматизация сокращает число занятых рабочих, что уменьшает фонд оплаты труда [6].

За счёт предложенного алгоритма линия получается гибкой: при смене габаритов продукции система адаптируется, не требуя перенастройки базовой логики безопасности. Несколько уровней блокировок уменьшают вероятность ошибки оператора и не дают возникнуть аварийной ситуации.

В итоге разработка и внедрение интеллектуальных алгоритмов взаимодействия роботов оказываются тем условием, без которого невозможно организовать высокоэффективную упаковку без поддона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, И.М. Робототехника и гибкие производственные системы / И. М. Макаров. – Москва: Высшая школа, 2020. – 527 с.
2. Роботы и робототехнические комплексы: учеб. пособие / Л. А. Рыбак [и др.]; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2022. - 71 с.
3. Юревич, Е.И. Основы робототехники: учебное пособие / Е. И. Юревич. – 4-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.
4. Рубанов В.Г., Бушуев Д.А., Бажанов А.Г., Ващенко Р.А. Проектирование робототехнических систем и комплексов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 190 с.
5. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон; пер. с англ. М. В. Горбатовой [и др.]. – Москва: Мир, 1984. – 264 с.
6. Черепнин, С.А. Автоматизация складских и логистических процессов на базе РТК / С. А. Черепнин // Промышленная автоматизация. – 2023. – № 2. – С. 14–19.

УДК 004.896

Анисимова В.В.
Научный руководитель: Бушуев Д.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ГУСЕНИЧНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

При подготовке инженеров-робототехников часто возникает разрыв между теорией и реальной работой с железом. Студент может отлично знать кинематику, но столкнуться с проблемами при настройке энкодеров или организации связи между контроллерами [1]. Лабораторный комплекс должен позволять экспериментировать с реальным кодом и реальными ошибками. Серийно выпускаемые промышленные платформы часто имеют закрытую архитектуру, что затрудняет их адаптацию под конкретные учебные задачи [2]. Альтернативой является создание собственного лабораторного комплекса на базе универсального шасси с открытым программным обеспечением.



Рис. 1. Внешний вид гусеничного робота UGV Beast

В настоящей работе в качестве такой платформы выбран гусеничный робот UGV Beast производства Waveshare (Рис. 1). Робот построен по двухконтроллерной схеме: верхний уровень представлен одноплатным компьютером Raspberry Pi 4B, нижний – микроконтроллером ESP32 (Рис. 2). Такая архитектура позволяет разделить сложные вычислительные задачи (обработка видео, связь с пользователем) и управление в реальном времени (ПИД-регулирование моторов, опрос датчиков) [3].

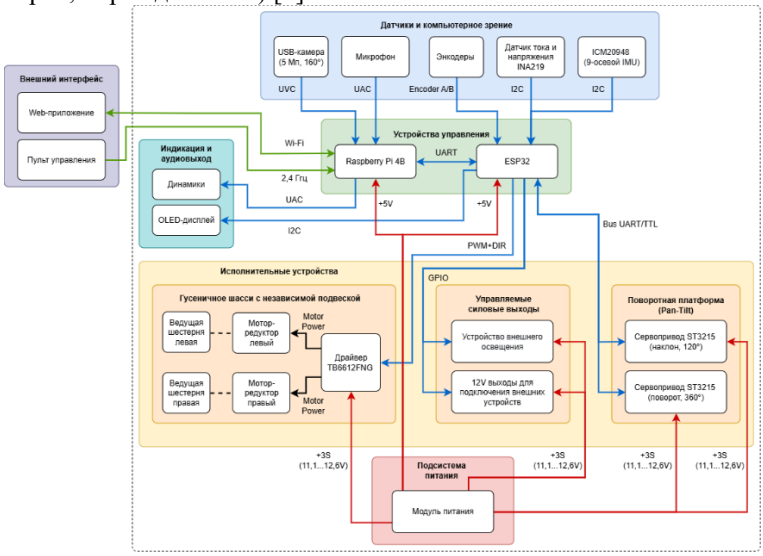


Рис. 2. Аппаратная архитектура мобильного робота UGV Beast

Raspberry Pi 4B оснащён операционной системой Raspberry Pi OS и средой интерактивного программирования JupyterLab. ESP32 выполняет роль периферийного контроллера: через драйвер управляет двумя мотор-редукторами с энкодерами, считывает показания инерциального датчика, датчика тока и управляет шинными сервоприводами поворотной платформы. Связь между контроллерами организована по последовательному интерфейсу UART. Команды передаются в формате JSON. Например, для движения вперёд с заданной скоростью отправляется структура, содержащая тип команды и значения скоростей левой и правой гусениц.

Расчёт траектории движения выполняется на основе прямой кинематической модели дифференциального привода [4]. Модель опирается на допущения: движение по горизонтальной плоскости, отсутствие проскальзывания гусениц на твёрдом покрытии, расположение центра масс в геометрическом центре платформы. Геометрические параметры – радиус ведущей шестерни и ширина колеи – определяются прямыми измерениями. При работе на мягких грунтах в модель вводятся поправочные коэффициенты скольжения, уменьшающие эффективную скорость каждой гусеницы. Эти величины определяются прямыми измерениями на реальной конструкции. Линейные скорости левой и правой гусениц вычисляются как произведение радиуса ведущей шестерни на соответствующие угловые скорости. Скорость центра масс робота находится как среднее арифметическое скоростей гусениц. Угловая скорость поворота определяется разностью скоростей гусениц, делённой на ширину колеи. Интегрирование этих соотношений во времени позволяет получить текущие координаты центра масс и угол ориентации робота. На основе модели выделены три базовых режима: прямолинейное движение (при равенстве угловых скоростей гусениц), поворот на месте (при противоположном направлении вращения гусениц с равной угловой скоростью) и движение по дуге окружности (при неравных угловых скоростях).

Для отработки алгоритмов управления без риска повреждения реального оборудования был создан цифровой двойник робота в пакете MSC Adams (Рис. 3). В модель импортирована трёхмерная геометрия корпуса, гусеничных лент, опорных катков и ведущих шестерней. Настроены контакты между гусеницами и опорной поверхностью с параметрами трения, а также вращательные соединения в подвеске каждого катка.



Рис. 3. Имитационная модель робота в среде MSC Adams

Верификация кинематической модели проводилась путём сравнения двух траекторий движения координат центра масс: теоретической (расчёт в среде Python) и имитационной (MSC Adams). Сценарий движения включал последовательность из четырёх этапов: прямолинейное движение, движение по дуге влево, разворот на месте и повторное прямолинейное движение. Длительность каждого этапа и значения угловых скоростей задавались одинаковыми для теоретического расчёта и симуляции. Результаты сравнения показали высокую степень соответствия траекторий. В конечной точке сценария разброс координат не превысил 5 % по осям X и Y (Рис. 4). Качественное и количественное совпадение траекторий подтверждает адекватность разработанной кинематической модели и пригодность цифрового двойника для отработки алгоритмов управления в учебных целях.

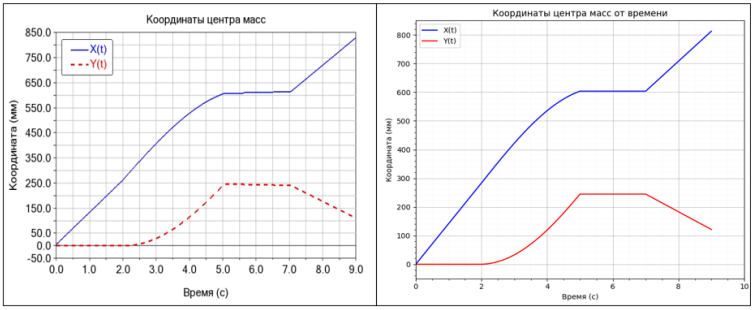


Рис. 4. Сравнение траекторий: имитационная модель (слева) и теоретическая модель (справа)

Программная среда комплекса базируется на JupyterLab, доступном по веб-интерфейсу. Студент работает с интерактивными блокнотами, содержащими теоретический материал, исполняемый код на языке Python и визуализацию результатов. Управление роботом осуществляется через специализированную библиотеку, которая предоставляет функции отправки команд и чтения телеметрии. Для обработки видеопотока используется библиотека OpenCV. Для профессиональной навигации предусмотрена интеграция с ROS 2, запускаемым в Docker-контейнере [5]. В этом режиме студент может управлять роботом через систему топиков и узлов, а также знакомиться с основами профессионального управления робототехническими системами.

На основе разработанного комплекса студенты могут быть изучать следующие темы: архитектура робота и среда JupyterLab; программирование движения и верификация кинематической модели; обработка видеопотока и слежение за цветным объектом; распознавание лиц и жестов; следование по линии; введение в ROS 2; сравнение теоретической, имитационной и реальной траекторий.

Предложенный лабораторный комплекс базируется на трёх компонентах: физический робот UGV Beast, имитационная модель в MSC Adams и программное обеспечение на Python. Цифровой двойник воспроизводит кинематику и динамику с погрешностью не более 5 % по координатам. Такая архитектура позволяет переходить от симуляции к реальному эксперименту без изменения управляющих алгоритмов. Комплекс обеспечивает трёхуровневый подход к изучению процессов управления: теоретический (кинематическая модель), имитационный (цифровой двойник) и практический (программирование реального робота).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушуев, Д.А. Интеллектуальный автономный робот для избирательной мойки поверхностей / Д. А. Бушуев, А. Г. Бажанов, В. А. Порхало [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2024. — Т. 25, № 5. — С. 231–238. — DOI: 10.17587/mau.25.231-238. — EDN: GEXXVJ.

2. Кижук, А.С. Анализ технических средств в структуре систем управления и их выбор при проектировании : учебное пособие / А.С. Кижук, Ю.А. Гольцов. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2016. — 242 с.

3. Рубанов, В.Г. Проектирование робототехнических систем и комплексов : учебное пособие / В.Г. Рубанов, Д.А. Бушуев, А.Г. Бажанов, Р.А. Ващенко. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2020. — 190 с.

4. Павлюковец, С.А. Математическая модель системы управления мобильным гусеничным роботом с учетом кинематических и динамических параметров / С.А. Павлюковец, А.А. Вельченко, А.А. Радкевич // Системный анализ и прикладная информатика. — 2023. — № 3. – С. 33–38.

5. Лавренов, Р.О. Основы ROS-1 и ROS-2 : учебно-методическое пособие / Р.О. Лавренов, Е.А. Магид. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2024. – 44 с.

УДК 004

Аноприенко Д.С., Рябчевский И.С.
Научный руководитель: Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИХ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ

Управление жизненным циклом зданий охватывает взаимосвязанные процессы, в рамках которых проектные, производственные и эксплуатационные решения согласуются с фактическим техническим состоянием строительных конструкций. При этом эксплуатация здания – самый продолжительный и информационно насыщенный этап его жизненного цикла. В этот период меняются действующие нагрузки, физико-механические характеристики материалов, параметры окружающей среды и требования к его функциональным и эксплуатационным свойствам [1–4]. Обоснованные управленческие решения требуют моделей, которые по накопленным эксплуатационным данным оценивают будущие состояния конструкций и возможные последствия возникающих воздействий.

Традиционные расчетные и статистические модели формируются на фиксированной выборке данных, исходя из того, что выявленные зависимости сохраняются в течение всего рассматриваемого периода эксплуатации. На реальных объектах это условие выполняется лишь частично. Изменяется техническое состояние конструкций, вследствие чего проводят ремонтно-восстановительные мероприятия,

перепланируют помещения, меняются сезонные условия эксплуатации, что приводит к снижению актуальности входных данных и характера связей между диагностическими признаками и фактическим техническим состоянием объекта. Модель, которая первоначально точно прогнозировала состояние объекта, со временем утрачивает адекватность и перестает достоверно отражать происходящие изменения [5-7].

Одним из перспективных направлений решения указанной проблемы является применение адаптивных моделей, которые по мере поступления новых данных об объекте корректируют собственные параметры, структуру или состав обучающей выборки. Динамическая модель показывает, как исследуемые параметры меняются во времени. Адаптивный подход отличается от периодического переобучения модели заранее заданным интервалом пополнения данных, когда фиксируется изменение статистических свойств информационного потока, рост ошибки прогнозирования либо смену режима эксплуатации объекта посредством дрейфа данных.

В теории потокового машинного обучения дрейфом называют изменение во времени зависимости между входными признаками и прогнозируемой переменной [7]. Для зданий такая адаптация имеет конкретное физическое содержание. Прогнозная модель должна учитывать процессы, протекающие в строительных конструкциях. Резкие изменения контролируемых параметров, как правило, связаны с аварийным воздействием, усилением конструкции, изменением расчетной схемы либо режима эксплуатации объекта. Циклический дрейф возникает вследствие сезонных колебаний температуры и влажности окружающей среды.

Информационную основу прогноза технического состояния зданий формируют проектные характеристики, результаты обследований, параметры действующих нагрузок, значения деформаций и перемещений, показатели вибрации, температуры и влажности, изображения дефектов, сведения о проведенных ремонтах и зафиксированных отказах. Методы машинного обучения обрабатывают многомерные и неоднородные массивы эксплуатационной информации, выявляя сложные зависимости между содержащимися в них данными. При этом точность и прогностическая состоятельность разрабатываемых моделей в значительной степени зависят от полноты наблюдений, синхронизации поступающих информационных потоков и корректного формирования диагностических признаков. Технологии информационного моделирования (ТИМ) хранят структурированные

сведения об объекте, а цифровой двойник дополняет информационную модель актуальными данными мониторинга и поддерживает ее устойчивую связь с физическим объектом. Совместному применению этих технологий препятствует несовместимость программных систем. При переходе между отдельными стадиями жизненного цикла часть сведений теряется [8-10].

Методы прогнозирования принято разделять на физические, вероятностно-статистические, основанные на данных, интеллектуальные (обучение модели) и гибридные (табл.) [10]. Физические модели дают интерпретируемые результаты, но требуют подробного математического описания процессов деформирования и деградации строительных конструкций. Статистические и байесовские методы уточняют параметры модели по мере поступления новых наблюдений и учитывают неопределенность исходной информации. Алгоритмы машинного и глубокого обучения выявляют сложные нелинейные зависимости в многомерных наборах данных. Гибридные модели объединяют физические закономерности работы конструкций с результатами анализа данных. При выборе метода учитывают точность на исходной выборке, объем и качество доступных данных, требуемый горизонт прогноза, условия эксплуатации объекта и уровень ответственности управленческого решения.

Таблица. Сравнительная характеристика адаптивных моделей прогнозирования технического состояния

Класс модели	Преимущество	Ограничение	Механизм адаптации
Физическая	Инженерная интерпретируемость	Трудоемкая идентификация параметров	Уточнение параметров по измерениям
Байесовская	Учет неопределенности	Высокая вычислительная сложность	Последовательное обновление распределений
Машинное обучение	Выявление нелинейных связей	Зависимость от качества выборки	Инкрементное или онлайн-обучение
Глубокое обучение	Работа с изображениями и временными рядами	Требовательность к данным	Дообучение и перенос обучения
Гибридная	Сочетание физических закономерностей и анализа данных	Сложность согласования компонентов	Совместное обновление расчетной и аналитической частей

В зависимости от порядка обновления прогнозной модели адаптация проходит в пассивном или активном режиме. При пассивном подходе параметры модели непрерывно корректируют по мере поступления эксплуатационных данных. В активном режиме переобучение запускают после обнаружения статистически значимого изменения свойств информационного потока. Для адаптации применяют скользящее временное окно, взвешивают наблюдения с учетом их давности, последовательно обновляют параметры по байесовской схеме, используют инкрементное обучение и формируют адаптивные ансамбли моделей, а также перенос алгоритмов между однотипными объектами капитального строительства.

Для зданий и сооружений наиболее обоснован событийно-периодический режим адаптации. При таком подходе параметры модели обновляют по данным непрерывного или периодического мониторинга, тогда как ее структуру и диагностические зависимости существенно корректируют лишь после того, как обследование объекта подтвердит выявленные изменения. Инженерная проверка при алгоритмической адаптации снижает вероятность неконтролируемого переобучения модели из-за погрешностей измерений, отказов датчиков, пропусков данных и кратковременных эксплуатационных воздействий.

Практическая ценность прогноз технического состояния обеспечивается при его включении в замкнутый контур управленческих решений «данные – прогноз – решение – контроль – адаптация» (рис.).

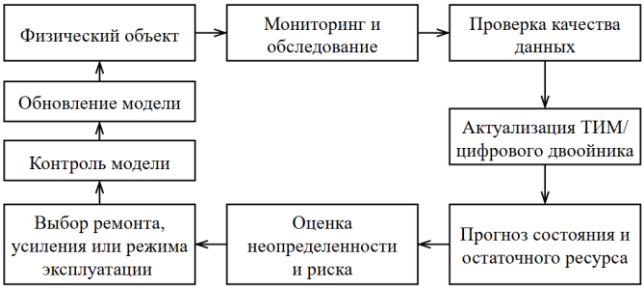


Рисунок. Структура механизма управления «данные – прогноз – решение – контроль – адаптация»

Результаты прогноза служат основанием для выбора управляющего воздействия, эффективность которого оценивают при последующем контроле. Если прогнозируемое состояние расходится с фактическим, модель адаптируют и уточняют ее параметры, за счет чего

она сохраняет требуемую точность при изменении условий эксплуатации. Модель ТИМ или цифровой двойник выполняет интеграционную функцию и объединяет информационную модель, данные мониторинга и расчетные представления о фактическом состоянии физического объекта.

Практическое внедрение адаптивных прогнозных моделей сдерживают нехватка размеченных данных о повреждениях, редкие отказы, разнообразие конструктивных систем, неполнота архивной эксплуатационной документации и отсутствие единых протоколов мониторинга. Автоматическое обновление модели несет дополнительные риски в связи с потерей ранее установленных зависимостей, закреплением систематических погрешностей датчиков, снижением интерпретируемости результатов, при этом прежний прогноз станет невозможно воспроизвести. Поэтому при эксплуатации адаптивной системы фиксируют версии моделей и наборов данных, указывают основания для обновления, контролируют изменения прогнозных характеристик и сохраняют возможность вернуть алгоритм к предыдущему состоянию.

К перспективным направлениям развития относятся физически информированное машинное обучение, перенос прогнозных моделей между однотипными объектами, федеративное обучение и вероятностное прогнозирование. Физически информированные методы ограничивают пространство возможных решений закономерностями деформирования и деградации конструкций. Перенос моделей и федеративное обучение создают условия для работы с распределенными данными, которые не требуется объединять в одном хранилище. Вероятностное представление результатов позволяет количественно оценить неопределенность прогноза, необходимую при выборе мероприятий с разной стоимостью и последствиями возможного отказа.

Адаптивная модель прогнозирования служит функциональным ядром интеллектуального управления техническим состоянием зданий. Статический алгоритм не учитывает динамику объекта, тогда как адаптивная модель отслеживает изменения его характеристик и условий эксплуатации, корректируя прогноз по результатам мониторинга и периодических обследований. Надежная в практическом применении система объединяет физические закономерности работы строительных конструкций, методы интеллектуального анализа данных, оценку неопределенности и инженерную проверку полученных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Opoku D.-G.J., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M. Digital twin application in the construction industry: A literature review // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 40. – P. 102726.

2. Сулейманова, Л. А. Интеграция результатов неразрушающего контроля в информационно-иерархическую модель городского пространства при управлении жизненным циклом объектов строительства / Л. А. Сулейманова, А. Ю. Черенков, О. Н. Шарапов, И. И. Иващенко // Вестник Евразийской науки. – 2025. – Т 17, № 4.

3. Римшин В. И. Нейросетевое прогнозирование несущей способности железобетонных элементов на различных стадиях жизненного цикла / В. И. Римшин, П. А. Амелин, Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2024. – № 11. – С. 42–55.

4. Сулейманова Л. А. Реализация алгоритмов машинного обучения в Statistica Neural Networks для прогнозирования прочности железобетонных элементов / Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин, Е. В. Овчинников // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2025. – С. 168–172.

5. Сулейманова Л. А. Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Университетская наука. – 2023. – № 1 (15). – С. 117–119.

6. Сулейманова Л. А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения / Л. А. Сулейманова, А. А. Обайди // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 38–46.

7. Prashanth B.S, Manoj K.M.V., Nasser A., Puneetha B.H. Leveraging Safe and Secure AI for Predictive Maintenance of Mechanical Devices Using Incremental Learning and Drift Detection // Computers, Materials & Continua. – 2025. – Vol. 83(3). – P. 4979–4998.

8. Сулейманова Л. А. Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 170-летию В. Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – Т. 1. – С. 240–245.

9. Сулейманова Л. А. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников, А. Н. Кривчиков // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 12–24.

10. Farrar, C.R., Worden, K. An Introduction to Structural Health Monitoring // New Trends in Vibration Based Structural Health Monitoring. CISM Courses and Lectures. – 2010. – Vol. 520. – P. 1-17.

УДК 691.555

Антоненко М.В., Скороходова М.Р., Киселева А.П.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ШТУКАТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИ ВОСПЛАМЕНЕНИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Современная строительная отрасль все чаще использует новые материалы для строительства и отделки. Они помогают сделать здания и сооружения прочнее, долговечнее и безопаснее. Для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений используют огнезащитные покрытия. Один из способов пассивной огнезащиты — специальные штукатурки, которые ослабляют воздействие высокой температуры при возгорании [1]. При этом особенно важно понимать, как вещества, образующиеся при термическом разрушении таких покрытий, влияют на природу и экосистемы. Во время пожара опасные соединения могут уходить в воздух вместе с дымом и аэрозолями, а после тушения — оседать на строительных поверхностях. Поэтому последствия пожара не ограничиваются только местом горения: он способен приводить и к вторичному загрязнению разных элементов окружающей среды.

Здесь многое зависит от химического состава огнезащитного покрытия. Штукатурные смеси [2] на минеральной основе, в которых используются гипс, цемент и другие неорганические вяжущие, а также минеральные наполнители вроде перлита или вермикулита, при обычной эксплуатации не горят. Обычно именно такая основа уменьшает вероятность образования большого объема горючих газов. Но делать окончательный вывод об экологической безопасности можно только после учета всего состава материала и результатов специальных испытаний.

Совсем по-другому ведут себя штукатурные составы, содержащие органические полимерные добавки, например акриловые или силиконовые дисперсии. При сильном нагреве органическая часть может разлагаться, выделяя дым и газообразные продукты.. Характер этих продуктов зависит от химической структуры полимера, содержания органической фазы, температуры, продолжительности нагревания и доступности кислорода. Следовательно, при разработке огнезащитных штукатурных материалов необходимо учитывать не только их огнестойкость, но и потенциальное влияние органических компонентов на состав газовой среды при пожаре.

Отдельно можно выделить минеральные огнезащитные составы. В них используются вещества, которые во время эндотермических реакций поглощают тепло. К этой группе относятся материалы на основе гидроксидов некоторых металлов, а также силикаты. При нагревании гидроксиды разлагаются и забирают часть тепловой энергии. При этом выделяется вода и образуются соответствующие оксиды. Такое поглощение тепла снижает температуру в зоне прямого воздействия и может улучшать теплоизоляцию покрытия. Как правило, образующиеся минеральные продукты намного меньше склонны к дальнейшему термическому разложению, но их экологические характеристики [3] все равно нужно оценивать отдельно для каждого состава.

К отдельной группе относятся огнезащитные материалы, в которых содержатся галогенсодержащие органические вещества или антипирены. Когда на такие материалы воздействует высокая температура, а горение идет не до конца или происходит поэтапно, могут выделяться газообразные соединения с галогенами, включая хлороводород и бромоводород. Эти вещества вызывают раздражение и оказывают токсическое действие, а при наличии нужных исходных веществ и подходящих условий могут участвовать в образовании еще более опасных ядовитых соединений. В некоторых источниках также отмечается, что при высокотемпературной обработке некоторых хлор- и бромсодержащих материалов способны образовываться полихлорированные и полибромированные диоксины и фураны.

Не стоит забывать и о дыме. Даже если само штукатурное покрытие не горит интенсивно, продукты термического распада его органических компонентов, а также дым от других материалов в помещении могут резко ухудшить условия для людей. Густой дым ухудшает видимость, мешает людям сориентироваться и найти выход, а содержащиеся в нём газовые и аэрозольные частицы могут ещё

сильнее увеличить токсическую нагрузку. Поэтому экологическую и пожарную безопасность огнезащитных покрытий стоит оценивать не только по ним самим, но и по тому, сколько дыма они образуют и насколько токсичны продукты их термического разложения.

При этом хорошее огнезащитное штукатурное покрытие в целом способно снизить экологический ущерб от пожара, потому что оно тормозит распространение огня и тепла. Чем дольше такое покрытие сохраняет свои теплоизоляционные и защитные свойства, тем больше времени нужно, чтобы защищаемая конструкция нагрелась до опасной температуры. В результате область сильного теплового воздействия становится меньше, строительные элементы повреждаются слабее, а материалов, разрушающихся в наиболее опасном температурном диапазоне, оказывается меньше.

Одним из самых многообещающих решений считают огнезащитные штукатурные смеси на основе в основном неорганических компонентов. От таких материалов требуется сразу несколько свойств: они должны выдерживать сильный нагрев, плохо воспламеняться и при этом хорошо сохранять тепло [4]. Особенно важно разобраться, что происходит с покрытием при повышении температуры: как меняется его структура, как из него выходит влага, сохраняется ли целостность защитного слоя и какие газообразные вещества при этом выделяются. Если рассматривать все эти характеристики вместе, можно оценить не только, насколько эффективно покрытие защищает от огня, но и как оно может сказаться на состоянии окружающей среды при пожаре в помещении.

Иными словами, влияние огнезащитных штукатурных покрытий на внутреннюю среду помещения во время пожара — вопрос многогранный. С одной стороны, такие составы помогают сдерживать рост температуры, а с другой — при термическом разложении некоторые их компоненты способны образовывать нежелательные продукты. На итог сильнее всего влияют тип связующего — минерального или органического происхождения, наличие полимерных добавок и антипиренов, вид заполнителя, содержание влаги, а также температура, время нагрева и качество вентиляции в помещении. Поэтому экологическую безопасность огнезащитной штукатурки нужно оценивать не только по тому, насколько она повышает предел огнестойкости, но и по тому, как она меняется при нагреве и какие последствия могут иметь продукты этих изменений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скороходова, М. Р. Исследование эффективности современных огнезащитных материалов / М. Р. Скороходова // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 171-174.

2. Гравит, М. В. Штукатурные составы как огнезащита стальных конструкций объектов нефтегазового комплекса / М. В. Гравит, Д. Е. Шабунина // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 3. – С. 46-55.

3. Махутов, Н. А. Экологическая безопасность и экологическое наследие в проблемах национальной безопасности / Н. А. Махутов, М. М. Гаденин // Экология и промышленность России. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 47-51.

4. Строкова В.В. Вспученный перлитовый песок как эффективная добавка к вяжущему / В. В. Строкова, В. В. Нелюбова, Н. О. Хмара, А.И. Буковцова, Ю.В. Денисова // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 61-66.

УДК 004.75

Бендич С.М.
Научный руководитель: Гвоздевский И.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ GWO И CSSA ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ UAV-EDGE-CLOUD

Развитие беспилотных летательных аппаратов сопровождается расширением задач, связанных с получением и обработкой визуальной информации. Использование UAV (БПЛА) для мониторинга территорий и обнаружения объектов предполагает выполнение вычислений в условиях ограниченной производительности бортовых устройств и переменной пропускной способности каналов связи. Одним из способов преодоления указанных ограничений является совместное использование бортовых, граничных и облачных ресурсов [3, 4].

В системе UAV-Edge-Cloud задача может выполняться локально, на граничном сервере или в облаке. Локальное выполнение исключает затраты на передачу данных, но может увеличивать время обработки. Перенос на edge даёт дополнительные ресурсы при учёте задержки передачи и загрузки узла. Облачная обработка предоставляет более мощные средства, однако зависит от состояния сетевого соединения. Вопросы выгрузки трафика и распределения вычислительной нагрузки в сетях с участием БПЛА активно исследуются в отечественных работах [3, 4]. Распределённый характер взаимодействия вычислительных узлов требует унифицированного представления данных и компонентов системы [6].

Для решения задач распределения применяются метаэвристические алгоритмы. Алгоритм оптимизации серых волков (GWO) использует иерархию решений [1]. Алгоритм роя сальп (SSA) и его хаотические модификации моделируют коллективное движение особей [2, 3]. Применение роевых алгоритмов, включая GWO, к задачам оптимизации в телекоммуникационных системах рассмотрено в [10]. Цель исследования – сравнить GWO и адаптированный вариант CSSA* при распределении задач обработки изображений на единой математической модели.

Рассматривается множество задач обработки изображений $I = \{1, \dots, N\}$ и множество вычислительных узлов $J = \{0, 1, 2\}$, где 0 – борт БПЛА, 1 – граничный сервер, 2 – облако. Каждая задача i характеризуется вычислительной сложностью C_{i} (число циклов процессора) и объёмом передаваемых данных D_{i} (Мбайт). Производительность узла j обозначается f_{j} (циклов/с), пропускная способность канала – B_{ij} (Мбит/с), дополнительная задержка канала – L_{ij} (с).

Распределение задач задаётся бинарными переменными:

$$\boldsymbol{x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \sum_{j} \in J\, x_{ij} = 1}, \qquad (1)$$

где $x_{ij} = 1$, если задача i назначена узлу j, и $x_{ij} = 0$ в противном случае. Условие суммы обеспечивает единственность назначения.

Время вычисления задачи i на узле j:

$$\boldsymbol{Tproc_{\text{ij}} = \frac{C_i}{f_j}}, \qquad (2)$$

где C_{i} – вычислительная сложность задачи (циклы), f_{j} – производительность узла ($\frac{\text{цикл}}{\text{с}}$).

Задержка передачи данных:

$$\boldsymbol{Ttr_{ij}} = \mathbf{0}\,(\boldsymbol{j} = \mathbf{0});\quad \boldsymbol{Ttr_{ij}} = \frac{\mathbf{8}\boldsymbol{D}_{\mathrm{i}}}{\boldsymbol{B}_{\mathrm{ij}}} + \boldsymbol{L}_{\mathrm{ij}}\,(\boldsymbol{j} \neq \mathbf{0}), \qquad (\mathbf{3})$$

где D_i – объём данных (Мбайт), B_{ij} – пропускная способность канала (Мбит/с), L_{ij} – дополнительная задержка канала (с). Множитель 8 переводит мегабайты в мегабиты. Для локального выполнения (j = 0) передача по сети не учитывается.

Полная задержка выполнения задачи:

$$\boldsymbol{T}_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{j}} \in \boldsymbol{J}\, \boldsymbol{x}_{\mathrm{ij}}\,(\boldsymbol{Tproc}_{\mathrm{ij}} + \boldsymbol{Ttr}_{\mathrm{ij}} + \boldsymbol{Q}_{\mathrm{ij}}), \qquad (\mathbf{4})$$

где Q_{ij} – оценка задержки ожидания, зависящая от суммарной вычислительной нагрузки назначенного узла. В экспериментальной модели $Q_{\mathrm{ij}} \approx \frac{0{,}5 \cdot (\sum_{\mathrm{k}} x_{\mathrm{kj}}\, C_{\mathrm{k}})}{f_{\mathrm{j}}}$.

Средняя задержка по набору задач:

$$\bar{\boldsymbol{T}} = \left(\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{N}}\right) \sum_{\mathrm{i}}{}^{=\mathbf{1}\,\mathbf{N}}\, \boldsymbol{T}_{\mathrm{i}}, \qquad (\mathbf{5})$$

где N – число задач.

Время завершения совокупной нагрузки (makespan):

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{max}_{\mathrm{j}} \in \boldsymbol{J}\,(\sum_{\mathrm{i}} \boldsymbol{x}_{\mathrm{ij}}\, \frac{\boldsymbol{C}_{\mathrm{i}}}{\boldsymbol{f}_{\mathrm{j}}}) \qquad \mathbf{(6)}$$

где M характеризует максимальное расчётное время обработки нагрузки на одном из узлов.

Энергозатраты E оцениваются по упрощённой модели: для локального узла – пропорционально C_i / f_0, для удалённых узлов добавляется составляющая, зависящая от объёма передаваемых данных. Показатель выражается в условных единицах.

Целевая функция (нормированная относительно сценария локальной обработки):

$$\mathbf{min}\, \boldsymbol{F} = \boldsymbol{\alpha}\left(\frac{\bar{\boldsymbol{T}}}{\boldsymbol{T}^{\mathbf{0}}}\right) + \boldsymbol{\beta}\left(\frac{\boldsymbol{E}}{\boldsymbol{E}^{\mathbf{0}}}\right) + \boldsymbol{\gamma}\left(\frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{M}^{\mathbf{0}}}\right), \qquad (\mathbf{7})$$

где T_0, E_0, M_0 – средняя задержка, энергозатраты и makespan при выполнении всех задач локально; α, β, γ – весовые коэффициенты (α + β + γ = 1). В эксперименте α = 0,55, β = 0,25, γ = 0,20.

Алгоритм GWO моделирует поведение стаи серых волков. Три лучших решения (α, β, δ) определяют направление обновления остальных кандидатов [1]. Особь представляется вектором размерности N; непрерывные координаты при вычислении целевой функции округляются до целых индексов узлов {0, 1, 2}.

В адаптированном CSSA* начальная популяция формируется логистическим отображением:

$$z_k^{+1} = 4\, z_k\, (1 - z_k), \qquad (8)$$

где $z_k \in (0, 1)$ – значение хаотической последовательности на шаге k. Полученная последовательность масштабируется на интервал [0, 2] и используется как начальные координаты решений. Далее применяется механизм обновления SSA с элитизмом. Реализация упрощена. Хаотические модификации SSA ранее успешно применялись для оптимизации размещения БПЛА и выгрузки трафика в сетях «воздух–земля» [3].

Оба алгоритма используют одинаковые целевую функцию (7), размер популяции и число итераций. Лучшим считается решение с минимальным значением F. Агентно-ориентированный взгляд на взаимодействие узлов распределённой системы [6] согласуется с коллективным поиском решений в роевых алгоритмах.

Эксперимент выполнен на синтетической модели: N = 30 задач ($C_i \in [0{,}5 \cdot 10^9; 4 \cdot 10^9]$ циклов, $D_i \in [2; 18]$ МБ). Производительность узлов: $f_0 = 8 \cdot 10^9$, $f_1 = 30 \cdot 10^9$, $f_2 = 100 \cdot 10^9$ цикл/с. Пропускные способности и задержки каналов заданы случайно в характерных диапазонах. Для каждого алгоритма проведено 30 запусков (популяция 20, 100 итераций). Базовые стратегии – локальная обработка и циклическое распределение.

Результаты сравнения стратегий приведены в таблице.

Таблица – Результаты сравнения стратегий распределения задач

Метод	F	$\bar{T}$, с	E, у.е.	M, с
Локально	1,0000	4,0495	0,2022	7,5834
Циклическое	0,6966	1,9203	0,2920	2,8354
GWO	0,4797	1,3302	0,1945	2,2219
CSSA*	0,5425	1,5621	0,2339	1,5597

В таблице приведены средние значения по 30 независимым запускам для GWO и CSSA*, а также детерминированные результаты базовых стратегий. Столбец F – значение целевой функции (7); $\bar{T}$ – средняя задержка выполнения задач, с; E – средние энергозатраты в условных единицах; M – расчётное время завершения совокупной нагрузки (makespan), с.

Наименьшее среднее значение целевой функции и средней задержки достигнуто алгоритмом GWO ($F \approx 0{,}48$; $\bar{T} \approx 1{,}33$ с). По сравнению с циклическим распределением F уменьшается примерно на 31 %. CSSA* обеспечивает меньший makespan ($M \approx 1{,}56$ с против 2,22 с у GWO). В выбранном сценарии GWO даёт более выгодный

компромисс по совокупности критериев, тогда как CSSA* формирует распределение с меньшей максимальной загрузкой узлов.

Результаты зависят от весов целевой функции и параметров синтетической модели. Показатель M не моделирует полностью параллельное исполнение, энергозатраты выражены в условных единицах. Поэтому нельзя утверждать превосходство одного алгоритма во всех условиях.

Предложена модель распределения задач обработки изображений в системе UAV-Edge-Cloud с целевой функцией (7), учитывающей среднюю задержку, энергозатраты и makespan. На синтетических данных GWO обеспечил лучший компромисс по взвешенному критерию, а CSSA* – меньшее время завершения нагрузки. Эффективность метаэвристик существенно зависит от структуры целевой функции и выбранного сценария.

Перспективы: анализ чувствительности к весам, проверка при переменной нагрузке и пропускной способности, переход к параметрам реальных платформ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mirjalili S., Mirjalili S. M., Lewis A. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. – 2014. – Vol. 69. – P. 46–61.

2. Mirjalili S., Gandomi A. H., Mirjalili S. Z. [et al.] Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems // Advances in Engineering Software. – 2017. – Vol. 114. – P. 163–191.

3. Парамонов А. И., Кучерявый А. Е., Маколкина М. А. Модель интеграции граничных вычислений в структуру сети «воздух–земля» и метод выгрузки трафика для сетей Интернета вещей высокой и сверхвысокой плотности // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 7–22.

4. Савин С. И., Старцев Н. А. Оценка влияния изменяющихся условий окружающей среды на распределение вычислительной нагрузки в группе БПЛА // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 112–125.

5. Адонин Л. С., Владыко А. Г. Алгоритмы роевого интеллекта для решения задач оптимизации в системах телекоммуникаций // Труды учебных заведений связи. – 2025. – Т. 11, № 3. – С. 7–18.

6. Гвоздевский И. Н. Применение агентно-ориентированного подхода для расширения возможностей автоматизированных систем

диспетчерского управления с использованием онтологий // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 11. – С. 138–145.

УДК 666.1

Бондаренко В.О., Захарова М.И.
Научный руководитель: Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ В ТЕХНИКЕ ФЬЮЗИНГ

Фьюзинг (англ. fusing от fuse — «спекание, плавка») —спекания цветного стекла в печи при высоких температурах. Изначально данная техника предназначалась для создания витражей, но сейчас используется и для получения других изделий из стекла: украшений, посуды и др. [1-3].

Техника фьюзинга имеет особенности, а именно:

- элементы стекла соединяются в единое целое, вплавляясь друг в друга;
- в зависимости от технологии изображение может быть объёмным и выпуклым с отдельными;
- техника не предполагает металлического профиля — основания, которое соединяет и удерживает цветные стёкла [4, 5].

Для фьюзинга используют специальное стекло, более мягкое и пластичное, чем витражное стекло. Важно учитывать коэффициент температурного расширения (КТР или COE) — при спекании стёкол с разными КТР на изделии могут появиться трещины. Обычное стекло с разным коэффициентом не подойдёт, так как будет деформироваться и трескаться [6].

Плавить можно любое стекло, но важно понимать его особенности: насколько стекло получается чистым и прозрачным, мутнеет ли в обжиге, понадобиться ли дополнительная обработка.

Для фьюзинга можно применять бутылочное стекло. Но для этого нужно понимать, что предполагается получить на выходе: можно разбить стекло на куски и переплавить в новую форму. Можно раздробить стекло до состояния крошки, засыпать в гипсовые формы или плоскости и переплавлять, сплавлять, прогибать [7]. Бутылочное стекло бывает разным. Прозрачное и зеленое стекло может не сойтись по КТР и треснуть [6, 8].

Работа по изготовлению изделия в технике фьюзинг проводилась в специальной печи для спекания стекла.

Процесс фьюзинга включал несколько этапов.

• **Нагрев** — стеклянные заготовки нагревают до 650–920 °C, стекло размягчается, края элементов начинают соединяться. Полное слияние происходит при 800 °C.

• **Томление или выдержка** — в печи поддерживают максимальную температуру для закрепления результата, фрагменты изделия становятся плоскими.

• **Охлаждение** — заготовку резко остужают, чтобы красный цвет не начал приобретать чёрный оттенок.

• **Отжиг** — заготовка остывает, принимает заданную форму и естественный оттенок, затем для сохранения прочности проводят отжиг при 580 °C.

• **Охлаждение** — изделие постепенно охлаждают до температуры помещения, слишком быстрое остывание приведёт к расколу.

Фьюзинг имеет ряд преимуществ перед более старыми технологиями изготовления витражей:

- возможность изготовления витража многослойным;
- нет отрицательного воздействия воды из-за отсутствия швов между элементами стекла;
- возможность изготовления рельефного витража.

Изделия, полученные в технике фьюзинг представлены ниже (Рис. 1).



Рис.1 Изделия, полученные в технике фьюзинг

Применение высокотемпературной обработки стекла дает возможность получения художественного стекла с уникальной фактурой и разнообразной цветовой гаммой, неподверженное старению

и изменению цвета, с объёмным и выпуклым рисунком, или же - почти плоским. В результате появляется желаемая фактура, толщина и рельеф стеклянного изделия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О. Разработка технологии стеклянных художественных изделий, выполненных в технике фьюзинг // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. материалов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. Архангельск: САФУ, 2019. С. 88–91.
2. Дайнеко В.В., Калихман А.Д. Художественные изделия из стекла в технологии спекания для декоративного оформления интерьеров // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2013. № 2 (5). С. 144–151.
3. Сурнина Н.А. Декорирование художественно-промышленных изделий из стекла включениями при фьюзинге // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 2 (24). С. 223–226.
4. Якушина Т.И. Фьюзинг // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2013. № 1. С. 32–35.
5. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Галета И.В. Современные тенденции развития техники фьюзинг // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. материалов Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. Архангельск: САФУ, 2019. С. 91–94.
6. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Ковылова Ю.В., Басов В.О., Даценко А.О. Определение температурно-временного режима спекания стекол // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. материалов V Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. Архангельск: САФУ, 2023. С. 15–18.
7. Минько Н.И., Калатози В.В. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 82–88.
8. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Назарова С.П., Даценко А.О., Зайцев А.С. Исследование физико-химических свойств тарных стёкол для технологии фьюзинг / сб. материалов III Всерос. (национальная) науч.-практ. конф. Архангельск: САФУ, 2021. С. 9–13.

УДК 69.057.4

Бубельный Н.А., Куликов И.С.
Научный руководитель: Марушко М.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ЭЛЕМЕНТОВ ФАСАДА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В статье рассмотрим современные технологии монтажа фасадных элементов высотных зданий. Проанализированы основные методы: поэлементный (стоечно-ригельный) монтаж, модульный (конвейерный) монтаж с использованием вертикальных направляющих, а также технологии навесных вентилируемых фасадов. Особое внимание уделено вопросам безопасности производства работ на высоте и контролю качества. Обоснована эффективность конвейерного метода, позволяющего отказаться от применения строительных лесов и люлек.

С каждым годом строительство высотных зданий и комплексов предъявляет все новые требования к скорости и качеству монтажных работ. Фасад высотного здания выполняет не только эстетическую, но и другие важные функции: ограждающую, теплоизоляционную, ветрозащитную и противопожарную.

Высотное строительство является сложным технологическим процессом, одним из этапов которого является монтаж элементов фасада. В отличие от зданий со средней и малой этажностью, монтаж фасада на высоте сопровождается повышенными ветровыми, температурными и динамическими воздействиями, что повышает риск для жизни специалистов по монтажным работам. Традиционная модель безопасности и «свободного подъема» – когда фасадный модуль подается к месту установки монтажным краном, после чего рабочие вручную наводят его на посадочное место – в высотном строительстве обнаруживает все более очевидные недостатки. Возникает потребность в разработке новых специальных технологических решений, средств механизации и многоуровневого контроля качества.

В связи с этим, необходимо систематизировать основные операции технологии монтажа элементов фасада высотных зданий; выявить структурные противоречия и обозначить условия, при которых та или иная технология становится более рациональной.

Рассмотрим технологию поэлементного (стоечно-ригельного) монтажа. Традиционный метод предполагает поэтапную установку

отдельных элементов фасада непосредственно на строительной площадке. Сначала собирается жесткий каркас, состоящий из вертикальных стоек и горизонтальных ригелей, на который в последующем крепятся светопрозрачные или непрозрачные панели. Работы выполняются снаружи здания с использованием строительных лесов, люлек или фасадных подъемников. Процесс включает разметку фасада, установку кронштейнов, монтаж теплоизоляции и ветрозащиты, крепление направляющих профилей и, наконец, установку облицовочных панелей. Для высотных зданий (свыше 75 м) требуются специальные леса с удвоенной стойкой, что существенно увеличивает трудоемкость и стоимость работ.

Выделим недостатки поэлементного метода применительно к высотным зданиям:

– высокая зависимость от погодных условий (монтаж требует применения подвесных платформ или лесов, работа на которых запрещена при гололеде, ветровых нагрузках свыше 10-15 м/с, а также во время грозы или тумана, который исключает видимость в пределах фронта работ);

– сложность обеспечения качества (сборка узлов, включающая установку уплотнителей, нанесение герметика, производится на высоте, что увеличивает влияние человеческого фактора и риск нарушения геометрии);

– низкая скорость (производительность бригады ограничена физическими возможностями работы на открытом воздухе и необходимостью постоянного перемещения подъемных механизмов);

– дополнительный риск для жизни специалистов по монтажным работам на высоте [1-3].

Дальнейшим развитием элементного метода стала конвейерная технология монтажа с подачей блоков по вертикальным направляющим [4]. Сущность метода заключается в том, что параллельно с возведением несущего каркаса сооружения производится установка опорных кронштейнов и вертикальных направляющих профилей в тело здания. В дальнейшем эти направляющие выполняют двойную функцию: сначала служат транспортными магистралями, по которым с помощью подъемной платформы, оснащенной лебедкой, перемещаются готовые фасадные модули, а затем – несущими элементами для их постоянного закрепления.

Главное отличие данной технологии от стоечно-ригельного метода состоит в том, что все монтажные операции выполняются изнутри здания. Подъемное устройство и монтажники находятся в безопасной

зоне, что исключает обязательное применения строительных лесов и люлек. Фасадный модуль, закрепленный на подъемной платформе, по прибытии к месту монтажа немедленно крепится к направляющей стойке болтами через уголки, являющиеся частью обрамления стеклопакета. Таким образом, создается непрерывный производственный поток подачи и установки ограждающих конструкций.

Согласно разработке авторов [5], способ монтажа модульных ограждающих элементов высотных зданий включает предварительное изготовление стеновой панели в заводских условиях, установку опорных кронштейнов в плоскости междуэтажных перекрытий, после чего направляющие профили используются для подъема фасадных модулей размером до 6000×3210 мм. Монтаж производится сверху вниз, что обеспечивает непрерывность процесса и высокую скорость возведения ограждающих конструкций.

Подъемная платформа выполнена разборной и состоит из основной и крепежной рам. Основная рама устанавливается враспор между вертикальными направляющими и имеет одну степень свободы – только вверх и вниз, что обеспечивает устойчивое поступательное движение независимо от внешних воздействий. Крепежная рама используется для фиксации фасадного модуля и может быстро отсоединяться.

Современные требования к теплозащите и долговечности зданий привели к появлению навесных вентилируемых фасадов, которые представляют собой систему, включающую облицовочный материал, металлический каркас из кронштейнов и профилей, вентилируемый воздушный зазор и утеплитель, примыкающий к несущим элементам здания (Рис. 1) [6]. Типовая последовательность монтажа навесных вентилируемых фасадов на высотных зданиях включает следующие этапы: разметка фасада с разбивкой на захватки, установка кронштейнов, монтаж теплоизоляции и ветрозащитной мембраны, крепление направляющих профилей, установка облицовочных панелей.

В качестве облицовочных материалов для навесных вентилируемых фасадов используются керамогранитные плиты, фиброцементные панели, HPL-панели (ламинаты высокого давления), металлические кассеты из алюминия или стали с полимерным покрытием, а также композитные панели с наполнителем из минерального или полимерного материала.

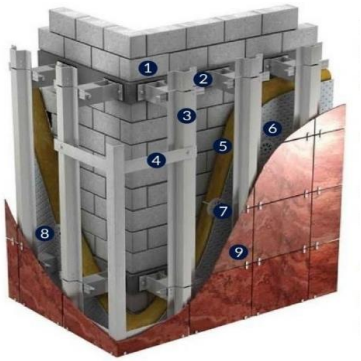


Рис. 1. Схема навесного вентилируемого фасада: 1 – стена; 2 – кронштейн; 3 – вертикальный профиль; 4 – горизонтальный профиль; 5 – теплоизоляция; 6 – мембрана; 7 – дюбель; 8 – воздушный зазор; 9 – облицовочные плиты

В качестве утеплителя как правило используются минераловатные плиты (стекловата, шлаковата, каменная вата), реже пенополистирол и пенополиуретан. Для высотных зданий критически важным является обеспечение герметичности всех соединений и правильное формирование вентиляционного зазора, обеспечивающего циркуляцию воздуха и вывод влаги, его толщину следует принимать по расчету в диапазоне 60-150 мм. Облицовочные материалы должны обладать повышенной морозостойкостью (не менее F150) и устойчивостью к ветровым нагрузкам [7].

По характеру процесса данный метод похож на поэлементный монтаж: работы ведутся на высоте, со строительных лесов или люлек, последовательный с сильной зависимостью от погодных условий, где ключевую роль играет человеческий фактор.

Проект производства работ (ППР) для монтажа фасадных систем высотных зданий [8] является комплексным технологическим регламентом, определяющим последовательность выполнения операций, методы контроля качества и требования безопасности. В ППР должны быть предусмотрены схемы расположения грузоподъемных механизмов, зон складирования материалов и путей перемещения грузов, а также система контроля качества выполняемых работ.

Безопасность труда при монтаже фасадов на высоте требует применения страховочных систем с анкерными линиями и индивидуальными точками крепления для каждого работника, организации временных ограждений по периметру рабочих ярусов. При

использовании фасадных люлек необходим обязательный регламент технического осмотра подвесных устройств с контролем допустимой нагрузки.

Конвейерная технология монтажа фасадных модулей с подачей по вертикальным направляющим обеспечивает дополнительный уровень безопасности за счет выполнения всех операций изнутри здания, что исключает риск падения монтажников с высоты и устраняет необходимость в наружных подъемных средствах.

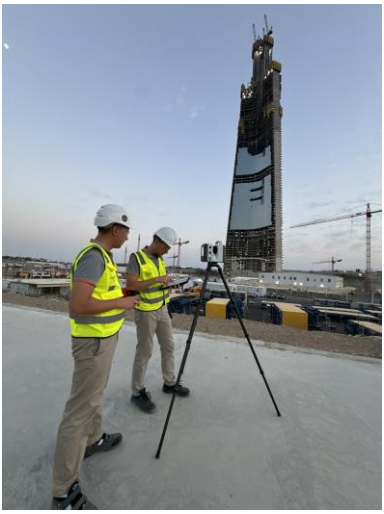


Рис. 2 Геодезический контроль монтажа фасада высотного здания

На высотных объектах геодезический контроль ведут непрерывно (Рис. 2). Применяют электронные тахеометры, лазерные уровни, отвесы и системы спутникового позиционирования. Для сложных фасадов эффективно лазерное сканирование, позволяющее получить трёхмерную модель смонтированной конструкции и сравнить её с проектом. Цифровые модели и BIM-технологии помогают выявлять коллизии и планировать монтажные захватки.

Контроль качества включает входной, операционный и приёмочный этапы. Проверяют сертификаты материалов, геометрию кронштейнов и направляющих, усилие затяжки крепежа, герметичность стыков, теплотехнические характеристики. Результаты оформляют актами скрытых работ и исполнительной документацией.

Технология монтажа фасадных элементов высотных зданий находится на пике своего развития, направление которого отчетливо видно: от свободного подъема к направляемому перемещению, от зависимости от крана к автономным транспортным системам, от последовательного монтажа к параллельным потокам. Эти преобразования отражают зрелое понимание того, что безопасность и точность высотного монтажа должны быть встроены в конструкцию и технологию, а не обеспечиваться исключительно вниманием и квалификацией специалистов по монтажным работам.

Однако технологический прогресс не отменяет структурных проблем: недостаток нормативной документации, кадровый дефицит, несистемность контроля качества – эти факторы не решаются изобретением нового профиля или платформы. Они требуют институционального ответа: разработки сводов правил, систем сертификации персонала, методов контроля, учитывающих специфику высотного монтажа.

Пока идет поиск решений поставленных проблем, каждая новая технология переходит в режим ожидания. Задача исследователей и практиков – не просто изобретать более совершенные системы, но и создавать условия, при которых эти системы могут работать так, как задумано.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марушко М.В., Потур А.М., Се Д. Производство строительно-монтажных работ с применением технологий цифрового моделирования // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры строительства и городского хозяйства. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 24-31.

2. Вахрушев Р.В., Марушко М.В. Особенности проектирования технологии и организации производства капитального ремонта многоэтажных жилых домов // XII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: Материалы форума, Белгород, 2020. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 746-750.

3. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Марушко М.В. Сущность аддитивных технологий в строительстве // Университетская наука. – 2018. – № 2(6). – С. 70-74.

4. Конвейерная технология монтажа фасадных модулей высотных зданий с подачей на монтаж по вертикальным направляющим /

Приволжский научный журнал. 2025. № 1. – С. 185–192. – URL: https://pnj.nngasu.ru (дата обращения: 24.09.2026).

5. Котков Р.В., Мороз А.А., Молодин В.В. Способ монтажа модульных ограждающих конструкций высотных зданий // Патент России 2020118074A. 2021. Бюл. №33.

6. Замшев, Г. С. Исследование и решение основных проблем вентилируемых фасадов высотных зданий // Молодой ученый. 2025. – № 11 (562). – С. 29–32.

7. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 56 с.

8. ППР для монтажа вентилируемых фасадов в высотных жилых комплексах.– URL: https://proekt-neft.ru (дата обращения: 24.09.2026).

УДК 004.75

Булгаков В.Д., Воскобойников И.С.
Научный руководитель: Гвоздевский И.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРОМ БЛОКА ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАДАННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ В БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМАХ

Рост объемов неструктурированных данных требует надежной фиксации их целостности, происхождения и прав доступа. Хранить такие данные напрямую в блокчейне неэффективно, поэтому чаще используется гибридная модель: сами данные размещаются во внешнем хранилище, а в блокчейн записываются метаданные – хэши, ссылки, временные метки и сведения о владельце. Такой подход соответствует модели Web3, где метаданные хранятся в блокчейне, а данные – в децентрализованном хранилище, например IPFS[1].

При росте потока транзакций с метаданными фиксированный размер блока может ограничивать пропускную способность системы. Поэтому адаптивное управление размером блока рассматривается как способ снижения задержек и балансировки нагрузки на узлы[2].

Каждая операция с неструктурированным объектом может формировать отдельную транзакцию: загрузка файла, обновление версии, изменение прав доступа, подтверждение целостности или

фиксация факта обращения к данным. В результате даже при хранении самих данных вне децентрализованной сети, блокчейн обрабатывает значительный поток служебных записей. Эти записи занимают место в блоках и влияют на скорость подтверждения операций, особенно при массовой обработке документов, журналов событий или мультимедийных данных.

Размер блока определяет, сколько транзакций может быть включено в один цикл подтверждения. Для транзакций с метаданными это особенно важно, поскольку при массовой загрузке, обновлении или проверке неструктурированных данных число служебных записей может быстро возрастать. Даже если сами файлы хранятся вне блокчейна, их хэши, ссылки, версии и права доступа продолжают формировать поток транзакций[3].

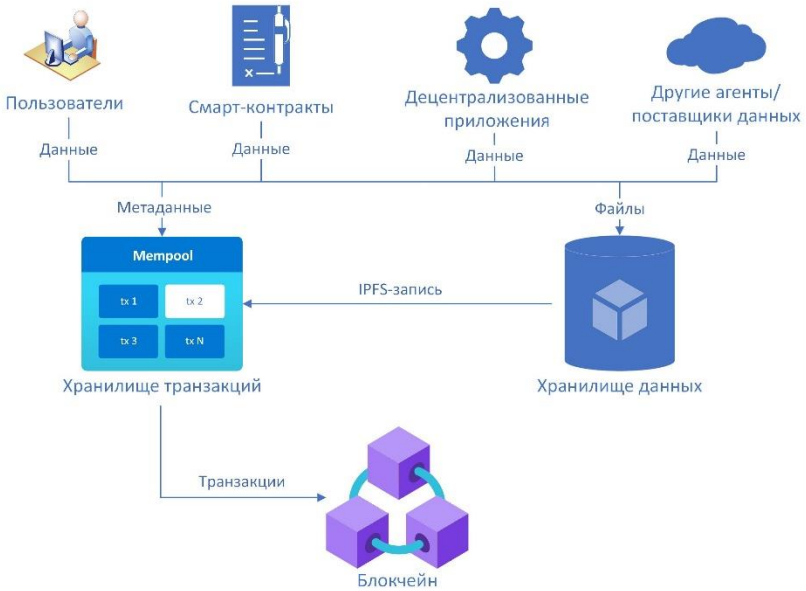


Рис. 1 Схема распределения данных и метаданных в децентрализованных сетях

При недостаточном размере блока часть транзакций остается в очереди ожидания – хранилище транзакций (mempool). В литературе mempool рассматривается как множество транзакций, ожидающих подтверждения в блокчейне[4].

На эффективность обработки транзакций с метаданными влияют следующие факторы:

1. Размер блока.
2. Интенсивность поступления транзакций.
3. Заполненность mempool.
4. Среднее время подтверждения транзакции.
5. Пропускная способность и задержки сети.
6. Вычислительные возможности узлов.

Слишком малый блок ограничивает пропускную способность и увеличивает очередь ожидания. Слишком большой блок снижает частоту переполнения mempool, но повышает нагрузку на сеть и узлы. Поэтому размер блока целесообразно рассматривать как адаптивный параметр, изменяемый в зависимости от текущей нагрузки[5].

Существует несколько подходов, реализующих автоматизированный процесс адаптации размера блока под параметры сети:

1. Адаптация по заполненности блока. Если блоки регулярно заполняются почти полностью – размер увеличивается, если блоки недозаполнены – уменьшается.

2. Адаптация по состоянию mempool. Если очередь неподтвержденных транзакций с метаданными растет, размер блока временно увеличивается.

3. Адаптация по времени подтверждения. Если средняя задержка подтверждения превышает допустимое значение, система корректирует размер блока.

4. Гибридный подход. Учитывает сразу несколько факторов: заполненность блока и хранилища транзакций, задержку подтверждения и сетевую нагрузку.

Таблица – Сравнение подходов к управлению размером блока

Подход	Преимущество	Ограничение	Применение
Фиксированный размер блока	Простота реализации	Не реагирует на пики нагрузки	Стабильная нагрузка
По заполненности блока	Простая логика управления	Не учитывает состояние сети	Умеренно изменяющийся поток транзакций
По mempool	Быстро реагирует на очередь транзакций	Требует мониторинга mempool	Пиковая загрузка транзакциями с метаданными

По времени подтверждения	Ориентирован на задержки	Сложная настройка	Системы с требованиями к низкой задержке
Гибридный	Балансирует пропускную способность и нагрузку	Более сложная реализация	Высоконагруженные системы

Выбор подхода к управлению размером блока зависит от характера нагрузки и требований к задержке подтверждения:

- При стабильном потоке транзакций с метаданными достаточно фиксированного размера блока. Он прост в реализации, но плохо реагирует на резкие пики нагрузки.
- При умеренно изменяющейся нагрузке целесообразна адаптация по заполненности блока: если блоки регулярно заполняются – размер увеличивается, при низкой загрузке – уменьшается. Такой подход приемлем для корпоративных реестров, архивов и систем документооборота.
- При массовой загрузке документов, журналов событий, IoT-данных или мультимедиа лучше использовать адаптацию по состоянию mempool. Рост очереди неподтвержденных транзакций становится сигналом для временного увеличения размера блока.
- Если критично время подтверждения операций, например при контроле доступа или регистрации юридически значимых документов, предпочтительна адаптация по задержке подтверждения.
- Для высоконагруженных систем с переменным потоком метаданных оптимален гибридный подход, учитывающий заполненность блоков, размер mempool, задержку подтверждения и сетевые ограничения. Такой подход сложнее, но лучше балансирует пропускную способность, задержку и нагрузку на узлы.

Адаптивное управление параметрами блока представляет собой перспективное направление развития блокчейн-систем, работающих с большими потоками служебных данных. В контексте обработки метаданных неструктурированной информации данная технология позволяет рассматривать блокчейн не только как средство фиксации целостности и происхождения данных, но и как управляемую инфраструктуру, параметры которой могут изменяться в зависимости от нагрузки. Дальнейшее исследование этой области может быть связано с разработкой моделей адаптации, сравнением их эффективности в разных сценариях, а также оценкой влияния размера

блока на задержки подтверждения, пропускную способность и устойчивость сети[6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Намиот, Д. Е. Архитектурные модели Web3 / Д. Е. Намиот, В. П. Куприяновский // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – № 2. – С. 84-94.

2. Абдулжалилов, А. З. Методы и стратегии масштабируемости блокчейн-технологий: анализ, сравнение и перспективы / А. З. Абдулжалилов // Вестник науки. – 2023. – № 11 (68). – Т. 4. – С. 625-634.

3. Никифорова, Т. С. От чего зависит скорость транзакций криптовалют? / Т. С. Никифорова // Мировая наука. – 2020. – № 1 (34).

4. Салманов, В. Д. Моделирование изменения размера мемпула на основе метода Монте-Карло в условиях неполной исходной информации / В. Д. Салманов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2023. – № 6. – С. 212-221.

5. Помогалова, А. В. Оценка эффективности адаптивного алгоритма блокчейн-сетей как части мультиконсенсусной системы на сетях связи / А. В. Помогалова // Труды учебных заведений связи. – 2024. – Т. 10. – № 5.

6. Гвоздевский И.Н. Интеграция технологии блокчейна в инновационном предпринимательстве / Гвоздевский И.Н., Кадацкая Д.В., Лаврова Ю.С. // Modern Economy Success. – 2024. – № 4. – С. 292-299.

УДК 681.5:621.798

Величко К.А.
Научный руководитель: Бажанов А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПАКОВКИ МАТЕРИАЛОВ С «ЛЕТАЮЩИМ НОЖОМ» НА БАЗЕ СЕРВОСИСТЕМЫ

Современный этап развития агропромышленного комплекса и технологий гидропонного выращивания характеризуется повышением уровня автоматизации производственных линий [1]. В условиях

непрерывного экструдирования и нарезки субстратов из минеральной ваты для гидропоники важным технологическим этапом становится индивидуальная упаковка готовой продукции в полимерную пленку. Данный материал обладает специфическими физико-механическими свойствами: высокой хрупкостью и абразивным износом. Это формирует строгие требования к процессу оборачивания: механическое воздействие на продукт должно быть минимизировано, а формируемый пленочный рукав должен обеспечивать герметичность упаковки, необходимую для поддержания заданного влагосодержания.

Для реализации непрерывного цикла упаковки без остановки транспортирующих лент применяется технология «летающего ножа». Суть метода заключается в том, что исполнительный орган осуществляет формирование поперечного термического шва и физическое разделение упаковок в процессе непрерывного движения потока материалов. Горизонтальная каретка (исполнительный механизм) движется синхронно с полимерной плёнкой, выполняет термическую сварку в момент, когда относительная скорость равна нулю, и возвращается назад.

Раньше синхронизацию решали аппаратно – через механические трансмиссии и рычажные системы. У таких решений есть слабые места: на высоких скоростях потока они быстро изнашиваются от усталости, кинематический зазор в передачах растёт, и точность реза падает [1]. А при переходе линии на новый типоразмер продукции конвейер приходится надолго останавливать, чтобы перенастроить механизмы. Пневматические приводы для точной синхронизации тоже не годятся – из-за нелинейного транспортного запаздывания. Поэтому при проектировании современных систем мерной резки основной путь – распределённые системы управления электроприводами, а не жёсткие кинематические связи.

Вычислительное ядро системы выбирают, опираясь на анализ технических средств [2]. Аппаратная детализация информационных потоков и распределение сигналов по портам ввода-вывода контроллера отражены на функциональной схеме автоматизации упаковочной линии (Рис. 1).

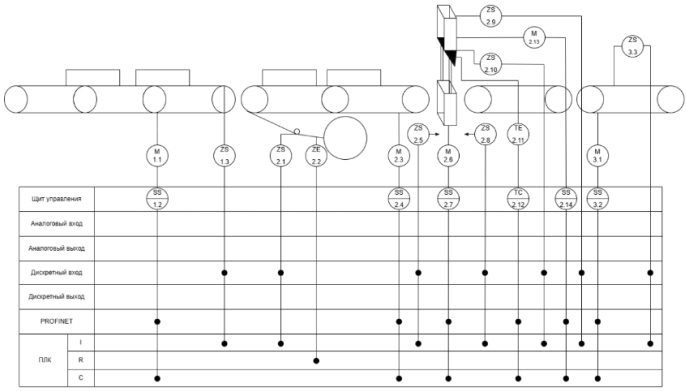


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации (ФСА) упаковочной линии

Информационное ядро комплекса – датчики полевого уровня. Оптический барьерный датчик определяет, поступают ли плиты субстрата. Инкрементальный энкодер стоит на отдельном измерительном ролике и считывает движение полотна плёнки – это даёт возможность скомпенсировать погрешности от проскальзывания на валах главного привода конвейера. С датчиков сигналы идут на высокоскоростные счётчики программируемого логического контроллера (ПЛК).

Центральное вычислительное устройство – контроллер SIMATIC S7-1500 с технологическим сопроцессором. Архитектура ПЛК рассчитана на работу с технологическими объектами, поэтому вычислительные потоки удаётся разделить: базовая логика идёт в стандартном цикле, а интерполяция траекторий считается в высокоприоритетных изохронных прерываниях [3].

Для обмена данными между ПЛК и сервоусилителями задействована промышленная сеть Profinet IRT. Изохронный режим резервирует выделенную полосу пропускания, аппаратно синхронизируя тактовые генераторы контроллера и приводов. Передача данных осуществляется посредством стандартизированной телеграммы по профилю PROFIdrive, поддерживающей режим Dynamic Servo Control (DSC). Данный режим переносит контур регулирования положения непосредственно в процессор сервоусилителя, повышая жесткость привода и минимизируя время реакции на ошибку рассогласования [4].

Одной из главных задач управления мехатронными комплексами непрерывного действия является формирование прецизионных

траекторий перемещения [5]. В системе реализована концепция «электронного кулачка», программно описывающая нелинейную зависимость между координатой ведущей оси (энкодер пленки) и позицией ведомой оси (каретка ножа).

При перемещении каретки возникают значительные инерционные нагрузки на механическую передачу. Использование классического трапецеидального профиля скорости сопровождается скачкообразным изменением ускорения, что возбуждает упругие колебания механической системы и снижает точность позиционирования. Для минимизации производных ускорения и снижения динамических нагрузок применяется S-образный профиль скорости. Функция положения каретки на участке разгона формируется на основе нормализованного полинома пятой степени.

Обоснование выбора полинома пятой степени базируется на поиске инженерного оптимума. Такой полином даёт шесть граничных условий: в точках начала и завершения разгона каретки обнуляются не только скорость, но и ускорение. Полиномы меньшей степени (скажем, третьей) обнулить ускорение на границах не могут – отсюда рывки. Полиномы седьмой степени и выше сглаживают профиль на границах сильнее, но пиковое ускорение в середине траектории заметно растёт, а значит, нужны серводвигатели завышенной мощности. Полином пятой степени даёт движение с непрерывным ускорением и ограничением рывка, при этом требования к крутящему моменту остаются оптимальными.

Точность позиционирования инструмента в промежутках между плитами определяет стабильность резки. Чтобы скомпенсировать неравномерность подачи, разработан алгоритм адаптивного контроля зазоров [5]. ПЛК считает фактическое расстояние между движущимися матами гидропоники и формирует скорректированное задание по скорости для сервоприводов входного конвейера. Обработка данных позволяет локально притормаживать или ускорять продукт, обеспечивая требуемое межпродуктовое расстояние.

Исполнительный уровень базируется на цифровых сервоусилителях SINAMICS V90 и синхронных двигателях SIMOTICS 1FL6. Обратная связь по скорости и позиции от абсолютного энкодера двигателя замыкает контур управления, обеспечивая отработку заданного профиля кареткой.

Качество термической сварки полимерной пленки является основным критерием работоспособности упаковки. Рабочим органом вертикальной оси выступают металлические губки с нагревательными

элементами. Стабилизация температуры является типовой задачей управления инерционным теплотехническим объектом с нелинейными динамическими характеристиками [6].

В проектируемой системе реализована технология косвенного измерения температуры на основе оценки импульсного тока и напряжения, данные с которых поступают в специализированный контроллер импульсной запайки ROPEX RES-5010 [7]. Данный регулятор в реальном времени вычисляет электрическое сопротивление нагревательной полосы, которое линейно зависит от ее фактической температуры. Такой подход исключает необходимость использования инерционных контактных датчиков температуры (термопар). Регулятор осуществляет корректировку мощности нагрева, обеспечивая тепловой импульс с регулируемой энергией в момент физического смыкания губок по управляющему сигналу от ПЛК. В алгоритм регулирования температуры введена составляющая прямого управления по возмущению – она компенсирует теплоотдачу при изменении производительности линии.

Оператор взаимодействует с системой через человеко-машинный интерфейс (HMI) на сенсорной панели Weintek. Через интерфейс загружаются производственные рецептуры, отслеживаются параметры скорости, корректируются настройки контроллера ROPEX и меняется длина упаковки – без прерывания технологического процесса.

Разработанная система упаковки по технологии «летающего ножа» – это программно-аппаратное решение, встроенное в современную промышленную сеть. Математическая модель на основе полинома пятой степени снизила нагрузки на исполнительные механизмы. Косвенный контроль температуры стабилизировал сварку плёнки. Спроектированный комплекс обладает заданной отказоустойчивостью и может служить инженерной основой для автоматизации линий упаковки гидропонных субстратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисов Ю. А. Современные сервосистемы в упаковочном оборудовании // Промышленные контроллеры и системы. – 2020. – № 4. – С. 12-18.

2. Кижук А.С., Гольцов Ю.А. Анализ технических средств в структуре систем управления и их выбор при проектировании: учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 242 с.

3. Рубанов В. Г., Паращук Е. М. Проектирование непрерывных и дискретных систем автоматического управления: учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 106 с.
4. PROFINET IRT: Высокоскоростной обмен данными в реальном времени [Электронный ресурс]. URL: https://www.siemens.com (дата обращения: 10.05.2026).
5. Рубанов В.Г., Бушуев Д.А., Бажанов А.Г., Ващенко Р.А. Проектирование робототехнических систем и комплексов: учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 190 с.
6. Гольцов Ю. А., Кижук А. С., Рубанов В. Г. Нелинейные явления в широтно-импульсной системе управления теплотехническим объектом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 188-192.
7. Кижук А.С., Гольцов Ю.А. Энергоэффективное широтно-импульсное управление нагревательной установкой // Наукоемкие технологии и инновации (XXIII научные чтения): сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – С. 45-49.

УДК 624

Власенко А.Ю., Кривцов М.С.
Научный руководитель: Пахомова Л.В., канд. техн. наук, доц.
Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Россия

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ И ГЕОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ И СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Традиционные методы защиты бетонных и стальных конструкций имеют недостатки, что делает актуальным поиск альтернативных материалов.

Альтернативой служат материалы на основе щелочно-активированных алюмосиликатов – геополимеры, а также полимерные композиционные системы на основе стеклянных, базальтовых и углеродных волокон. Геополимерные вяжущие, синтезируемые из техногенных отходов (золы-уноса, доменного шлака, метакаолина) позволяют снизить углеродный след производства на 70–80% по сравнению с портландцементом [1]. Полимерные композитные материалы (Fiber-Reinforced Polymer, FRP) и тканеармированные

цементные матрицы (Fabric-Reinforced Cementitious Matrix, FRCM) позволяют усиливать конструкции без увеличения их поперечного сечения и без риска коррозионного разрушения арматуры [2].

Целью настоящей работы является систематизация экспериментальных данных о структурно-механических параметрах геополимерных и полимерных композиционных материалов и оценка их защитной эффективности для бетонных и стальных конструкций.

Геополимеры – аморфные каркасные структуры, образующиеся при щелочной активации алюмосиликатного сырья. Они обеспечивают высокую прочность, термостойкость до 1000–1200 °C и стойкость к кислотам, сульфатам и хлоридам [1].

Технологическим параметром, определяющим итоговое структурно-механическое состояние геополимера, является концентрация (молярность) щелочного активатора. Для реальных инженерных задач оптимальной признана концентрация 3М, обеспечивающая рациональный баланс между механическими свойствами, технологичностью приготовления смеси и экономической эффективностью.

Добавление до 2,5% SiO_2 и армирование стальной фиброй до 1,25% повышает трещиностойкость и вязкость разрушения. Прочность на сжатие достигает 63,74 МПа, на изгиб – 9,46 МПа [3].

Защитная функция геополимерного покрытия по отношению к стальной арматуре реализуется посредством двух взаимодополняющих механизмов. Первый, барьерный, механизм связан с формированием сверхплотной микроструктуры с низкой пористостью и малым размером капиллярных пор. Такая структура препятствует миграции воды, растворенного кислорода и агрессивных ионов к поверхности металла. Второй – электрохимический (пассивирующий) обеспечивает термодинамическую стабильность пассивной оксидной пленки на поверхности стали. Этот эффект подтверждается более положительными значениями коррозионных потенциалов в хлоридсодержащих средах по сравнению с традиционными цементными системами [4].

Количественным критерием эффективности геополимерной защиты служит плотность коррозионного тока. Экспериментальные данные демонстрируют значительное превосходство геополимерных покрытий: для стальных стержней с геополимерным покрытием ее значения составляют 0,001–0,002 мкА/см², тогда как для традиционного портландцементного бетона – 0,5–1,5 мкА/см². Такое различие

позволяет прогнозировать увеличение срока службы конструкций в условиях хлоридной агрессии в 3–5 раз [5].

Эксплуатация конструкций в регионах с холодным климатом требует оценки морозостойкости защитных материалов. Геополимерные композиты, модифицированные оксидом кремния и стальной фиброй, демонстрируют высокую устойчивость к знакопеременным температурным воздействиям. После 275 циклов замораживания-оттаивания в диапазоне от -45°C до +22°C образцы сохраняют структурную целостность, а потери массы не превышают 1%. Эффект объясняется заполнением микропор наноразмерными частицами и улучшением межфазного сцепления [6].

Геополимерные бетоны на основе золы-уноса и гранулированного доменного шлака способны достигать классов прочности от В30 до В60 в зависимости от состава и условий твердения. Важной технологической особенностью является ускоренный набор прочности: 70–80% марочного значения достигается в течение первых 7 суток.

Испытания однопролетных плитных образцов из геополимерного бетона (прочность 52,1 МПа) показали, что модуль упругости находится в интервале 28–35 Гпа – несколько ниже, чем у тяжелого бетона на портландцементе (35–40 ГПа). Однако пониженная жесткость компенсируется повышенной деформативностью и способностью к релаксации напряжений. Образцы, армированные стальной арматурой, демонстрируют вязкое изгибное разрушение с развитой стадией пластических деформаций, что характерно для материалов с выраженной площадкой текучести.

Стеклопластиковая (GFRP) и базальтопластиковая (BFRP) арматура обладают высокой коррозионной стойкостью, малым удельным весом и высокими значениями прочности на растяжение (800–1200 МПа). Эти свойства обусловливают их привлекательность для применения в агрессивных средах, где традиционная стальная арматура подвержена быстрой деградации.

Однако практическое применение FRP-арматуры сопряжено с рядом проблем. Низкий модуль упругости (40–55 ГПа против 200 ГПа у стали) приводит к повышенным прогибам и широкому раскрытию трещин при эксплуатационных нагрузках, что может нарушать требования по пригодности к нормальной эксплуатации.

Для преодоления недостатков FRP-арматуры предложена концепция гибридного армирования, предполагающая совместное использование стальных и композитных стержней в одном элементе. Численное моделирование показывает, что гибридное армирование

позволяет: сохранить несущую способность, сопоставимую с полностью стальным армированием; обеспечить пластическую деформативность за счет стальной арматуры; использовать высокую прочность FRP-арматуры для восприятия растягивающих напряжений. Среднее отношение разрушающих нагрузок, определенных методом конечно-элементного анализа, к экспериментальным значениям составляет 0,98, при стандартном отклонении 4,6% и коэффициенте вариации 4,8%. Увеличение прочности бетона на сжатие приводит к снижению прогибов, что подтверждает эффективность комбинированного подхода [7].

Наиболее эффективна интеграция геополимерной матрицы, FRP- или гибридной арматуры и внешних FRCM-слоев. Такой подход одновременно противодействует химической деградации и исчерпанию несущей способности.

Обобщенные показатели эффективности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение традиционных систем с геополимерными

Параметр	Геополимерная система	Традиционный бетон
Прочность на сжатие	до 63,7 МПа	35–50 МПа
Увеличение изгибной прочности (FRCM-усиление)	+59%	+30–40%
Потери массы после 275 циклов замораживания	<1%	3–5%

Несмотря на значительный прогресс, ряд вопросов остается недостаточно изученным:

1. Долгосрочная стабильность – требуются исследования поведения геополимерных и полимерных систем в течение 50–100 лет эксплуатации в различных климатических условиях.

2. Технологичность и экономика – необходимо разработать нормативную базу и технологические регламенты для широкого внедрения новых материалов в массовое строительство.

3. Стандартизация методов испытаний – создание унифицированных методик оценки структурно-механического состояния композитных систем в условиях комплексных воздействий.

Геополимерные и полимерные композиционные материалы являются жизнеспособной альтернативой традиционным методам защиты. Геополимеры обеспечивают барьер против хлоридной

агрессии и морозостойкость, а FRP-арматура и FRCM-усиление повышают несущую способность и трещиностойкость. Критически важен учет хрупкости неметаллической арматуры, что требует гибридных решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аликина, Ю. А. Геополимерные материалы: проблемы, достижения и перспективы (обзор) / Ю. А. Аликина, А. А. Алексеев, О. Ю. Голубева // Журнал прикладной химии. – 2024. – Т. 97, № 2. – С. 114-131. – DOI 10.31857/S0044461824020026. – EDN DVMEGO.

2. Степанова, В. Ф. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций / В. Ф. Степанова, А. Ю. Степанов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 45-47. – EDN PNQAMD.

3. Модификация низкоактивного алюмосиликатного сырья как способ повышения его качественных характеристик при синтезе геополимеров / Н. И. Кожухова, Д. Н. Данакин, М. И. Кожухова [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 5. – С. 131-139. – DOI 10.34031/article_5cd6df45c835e4.80839646. – EDN ENBJRW.

4. Казанская, Л. Ф. Основные технические характеристики бетонов на основе цементов щелочной активации / Л. Ф. Казанская, О. М. Смирнова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 42-47. – EDN XWZALN.

5. Долговечность бетона и железобетона в природных агрессивных средах / В. М. Латыпов, Т. В. Латыпова, Е. В. Луцык, П. А. Федоров ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Издание второе, переработанное и дополненное. – Уфа: Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2014. – 288 с. – ISBN 978-5-7831-1233-1. – EDN VMUUXX.

6. Ерошкина, Н. А. Морозостойкость геополимерного бетона / Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин, Е. И. Тымчук // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 3-2(47). – С. 78-82. – EDN TUHMPV.

7. Гиль, А. И. Сопротивление изгибу статически неопределимых железобетонных балок с гибридным армированием / А. И. Гиль, Е. Д. Лазовский // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы,

перспективы, инновации : Сборник статей международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 ноября 2019 года / под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк: Учреждение образования «Полоцкий государственный университет, 2020. – С. 99-103. – EDN HODCZT.

УДК 004.75:631.11

Вокуева Н.Е.
Научный руководитель: Маматов А.В., д-р техн. наук.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОД ОЦЕНКИ СОГЛАСОВАННОСТИ ДАННЫХ АВТОНОМНОГО УЗЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СВЯЗИ В РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Информационное обеспечение сельскохозяйственного предприятия связано с объединением сведений об объектах, процессах, ресурсах и цифровой инфраструктуре предприятия. В качестве источников таких сведений рассматриваются информационные системы, средства производственного учёта, датчики, телеметрические устройства и иные цифровые источники [1]. На практике информационное представление сельскохозяйственного предприятия может включать данные о составе машинно-тракторного парка, оснащённости техники средствами спутниковой навигации, а также сведения о состоянии объектов животноводства [5–7]. Такие данные различаются по структуре, источникам получения и периодичности обновления, что обусловливает необходимость их интеграции и согласованной обработки [3, 4].

При территориально распределённой организации информационной среды часть источников может взаимодействовать с центральным контуром через локальные узлы. В частности, данные от спутниковых навигационных средств, установленных на сельскохозяйственной технике, связаны с мобильными и пространственно распределёнными объектами предприятия [5]. Временная недоступность соединения в этом случае не должна исключать локальное сохранение поступающих изменений. После восстановления связи возникает задача определить, совпадает ли состояние локального узла с состоянием центрального контура и какие различия могут быть устранены автоматически.

В теории распределённых систем согласование реплицированных данных, идентификация версий и обработка конкурирующих изменений относятся к базовым задачам обеспечения согласованности [2]. Для информационного обеспечения сельскохозяйственного предприятия эта задача должна решаться применительно к отдельным информационным элементам представления предприятия, имеющим идентификатор, версию, источник и временные характеристики.

Цель исследования — разработать формализованный метод оценки согласованности локального и центрального представлений состояния предприятия после восстановления связи автономного узла. В работе не оценивается количественная эффективность конкретной программной реализации; предлагаются показатели и процедура их вычисления, предназначенные для последующей экспериментальной проверки.

Пусть информационное обеспечение представлено множеством $D=\{d_1,d_2,\ldots,dN\}$, где N — число контролируемых информационных элементов. Для каждого элемента d_i рассматриваются локальное состояние d_i^L и состояние центрального контура d_i^c. Сопоставление выполняется по идентификатору элемента и его версии; при необходимости дополнительным признаком равенства содержимого может служить контрольное значение, вычисляемое программной реализацией.

Элемент считается согласованным, если локальный и центральный контуры содержат одну подтверждённую версию. Если версии различаются, элемент относится к множеству рассогласованных. При этом само рассогласование ещё не означает конфликта: оно может быть следствием одностороннего изменения, накопленного во время отсутствия связи. Для оценки доли согласованных элементов предлагается коэффициент:

$$Kc = (N - Nd) / N \qquad (1)$$

где Nd — количество рассогласованных информационных элементов. Значение Kc=1 соответствует совпадению контролируемых состояний; уменьшение Kc означает рост доли элементов, требующих синхронизации или дополнительной проверки. Коэффициент (1) предлагается в настоящей работе как показатель текущей согласованности.

Для последующей обработки различия версий классифицируются с учётом общей подтверждённой версии. Это позволяет разделить

одностороннее и конкурентное изменение одной сущности, что принципиально для корректной синхронизации и обработки конфликтов [2].

Таблица – Классификация состояний информационного элемента

Состояние	**Условие**	**Действие**
Согласованное	Локальная и центральная версии совпадают	Дополнительная обработка не требуется
Локальное изменение	Изменена только локальная версия относительно подтверждённой	Передача локальной версии в центральный контур
Центральное изменение	Изменена только центральная версия	Обновление локального состояния
Конфликт	Обе версии изменены относительно общей подтверждённой версии	Фиксация конфликта и применение отдельного правила согласования

Предлагаемая процедура оценки включает пять последовательных этапов. На первом этапе формируется перечень элементов, присутствующих в локальном и центральном контурах, и устанавливается последняя подтверждённая версия каждого элемента. На втором этапе сопоставляются локальные и центральные версии. На третьем этапе различия классифицируются в соответствии с таблицей. На четвёртом этапе вычисляется коэффициент Kc. На пятом этапе неконфликтующие изменения могут быть переданы в соответствующий контур, после чего оценка выполняется повторно.

Для характеристики результата такой процедуры предлагается коэффициент восстановления согласованности:

$$Kr = (Nd^0 - Nd^1) / Nd^0 \quad (2)$$

где Nd^0 — количество рассогласованных элементов до выполнения процедуры синхронизации; Nd^1 — количество элементов, остающихся рассогласованными после обработки неконфликтующих изменений. Если $Nd^0=0$, коэффициент Kr не рассчитывается, поскольку система уже находится в согласованном состоянии. Показатель (2) предназначен для будущего сравнения алгоритмов синхронизации на программном стенде.

Важным свойством предложенного метода является раздельная оценка состояния данных и результата синхронизации. Коэффициент Kc показывает, насколько совпадают данные локального и центрального контуров в выбранный момент времени, а Kr — насколько успешно устранены выявленные расхождения после синхронизации. Поэтому низкое значение Kc не следует автоматически интерпретировать как потерю или повреждение данных: часть расхождений может быть следствием корректно накопленных односторонних изменений.

Метод не определяет, какая из конфликтующих версий должна считаться актуальной. Если один и тот же элемент был изменён и в локальном, и в центральном контуре, требуется отдельное правило выбора или объединения версий с учётом содержания данных. В рамках предлагаемого подхода такой элемент фиксируется как конфликтный и исключается из автоматически согласуемого множества до применения установленного правила.

Для последующей экспериментальной проверки метода необходимо реализовать программный стенд автономного узла и центрального контура. В рассматриваемой предметной области имеется зарегистрированный программный тренажёр подготовки специалистов [8], однако предложенный механизм согласования требует самостоятельной программной реализации и проверки. Оцениваться должны число накопленных изменений, число рассогласованных и конфликтных элементов, значения Kc до и после восстановления связи, значение Kr и время синхронизации. Параметры эксперимента, объём набора данных и режимы разрыва связи должны определяться при фактической реализации стенда; в настоящей работе численные результаты не заявляются.

Таким образом, разработан метод оценки согласованности данных автономного узла и центрального контура распределённой системы информационного обеспечения сельскохозяйственного предприятия. Предложены два количественных показателя и процедура классификации расхождений, позволяющая отделить односторонние изменения от конфликтов версий. Разработанный метод формирует основу для последующей программной реализации и экспериментального сравнения алгоритмов синхронизации без предварительного утверждения их количественных преимуществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моторин О.А., Кузьмин В.Н., Эдер А.В., Королькова А.П., Стукалин А.В., Гаврилов А.В., Альшан А.А. Цифровое профилирование сельскохозяйственных предприятий: аналитический обзор. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. — 116 с. — ISBN 978-5-7367-1824-5.

2. Tanenbaum A.S., Van Steen M. Distributed Systems: Principles and Paradigms. — 2nd ed. — Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007. — ISBN 978-0-13-239227-3.

3. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming — A review // Agricultural Systems. — 2017. — Vol. 153. — P. 69–80. — DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

4. Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X. A review on the practice of big data analysis in agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. — 2017. — Vol. 143. — P. 23–37. — DOI: 10.1016/j.compag.2017.09.037.

5. Моторин О.А., Свищева М.И., Халиуллин Н.А., Вокуева Н.Е. Оснащенность сельскохозяйственной техники средствами спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS // Управление рисками в АПК. — 2022. — № 3 (45). — С. 55–64. — DOI: 10.53988/24136573-2022-03-06.

6. Моторин О.А., Халиуллин Н.А., Свищева М.И., Вокуева Н.Е., Елдашев А.О. Машинно-тракторный парк сельскохозяйственных организаций // Управление рисками в АПК. — 2022. — № 2 (44). — С. 118–133. — DOI: 10.53988/24136573-2022-02-10.

7. Халиуллин Н.А., Вафин И.А., Моторин О.А., Вокуева Н.Е. Динамика поголовья крупного рогатого скота в сельхозпредприятиях Республики Татарстан // Управление рисками в АПК. — 2023. — № 4 (50). — С. 53–63.

8. Моторин О.А., Вокуева Н.Е., Сарбаева В.К., Константинов И.С., Маматов А.В., Александров Е.Н. Программный тренажёр подготовки специалистов по цифровому профилированию предприятий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2026686187. — 28.08.2026. — Заявка № 2026685903 от 24.08.2026.

УДК 72.025.4

Волобуева А.А.
Научный руководитель: Алейникова Н.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В РЕСТАВРАЦИИ

Статья посвящена интеграции параметрического проектирования в практику реставрации объектов культурного наследия. Рассматриваются алгоритмические методы включения новых архитектурных объектов в историческую среду. Анализируется зарубежный опыт и потенциал его применения в российском контексте. Особое внимание уделяется сохранению идентичности исторической застройки при внедрении новых объёмов.

Проблема соотношения нового и старого в исторической среде - одна из фундаментальных в теории архитектуры. Реставрационная практика последних десятилетий отходит от буквалистского понимания «научной реставрации» к более гибким стратегиям, допускающим включение новых элементов. Однако механизм такого включения остаётся недостаточно теоретизированным. Параметрическое проектирование, сформировавшееся в русле «цифровой» архитектуры конца XX - начала XXI века, предлагает инструментарий, способный ответить на эти вопросы. Алгоритмические методы позволяют управлять формообразованием в реальном времени, адаптируя новые объекты к существующему контексту, что делает их привлекательными для реставрации, где цена ошибки особенно высока.

Параметрическое проектирование традиционно ассоциируется с архитектурой «новых форм» - работами Захи Хадид, Патрика Шумахера, бюро UNStudio. Однако в последние годы те же методы применяются к историческому наследию [1]. Исследователи отмечают, что параметрические методы имеют решающее значение для информационного моделирования исторических зданий (HBIM), позволяя осуществлять цифровое сохранение, реставрацию и 3D-моделирование древних сооружений [2]. В отличие от обычного BIM, HBIM формируется на основе данных обследования: лазерного сканирования, фотограмметрии, архивных материалов. Параметрическое описание элементов позволяет моделировать альтернативные сценарии вмешательства (Рис. 1). Ритмические закономерности, пропорциональные отношения, характер членений

могут быть описаны как параметры и использованы как ограничения при генерации новых форм.

а)  б) 

Рис. 1 Проект демонстрирует интеграцию подземного муниципального комплекса вокруг исторической виллы Villa Sevita: а) общий вид; б) фрагмент. Параметрические стратегии позволили создать «змеевидную» конфигурацию зданий в обход ограничений по высоте на историческом участке [2]

В Китае, прежде чем говорить о включении и интеграции новых объектов, необходимо решить задачу анализа существующей среды [3]. Один из подходов связан с использованием преобразования Фурье для анализа ритмических структур исторической застройки. Преобразование Фурье позволяет разложить периодические функции на синусоидальные и косинусоидальные компоненты, что облегчает анализ сложных периодических явлений. Применительно к архитектуре это означает возможность выделить «основную частоту» ритма фасада, регулярность расположения окон, простенков, декоративных элементов и использовать её как параметр при проектировании (Рис. 2). Новый объект может быть «настроен» на ту же частоту, что и окружающая застройка, обеспечивая визуальную преемственность без прямого копирования исторических форм.



Рис. 2 Параметрическая деревянная структура, встроенная в историческую Plaza de la Encarnación. Несмотря на первоначальную критику, проект стал городским катализатором - автор называет его «городским, демократичным, открытым собором» [1]

Включение и интеграция нового объекта в историческую среду - всегда компромисс между сохранением целостности контекста и

требованием современной функциональности [4]. Параметрическое проектирование делает этот компромисс управляемым. В китайской практике сформировался подход, который можно назвать «параметрическим контекстуализмом»: новые технологии позволяют быстро создавать 3D-модели сооружений и исследовать архитектурные возможности, оставаясь в пределах традиционных принципов проектирования [5]. Параметрические модели используются не для «преодоления» традиции, а для точного следования её глубинным закономерностям [6]. В Белгороде реставрация исторической арки в парке Ленина ведётся с опорой на архивные фотографии 1950-60-х годов. Параметрическое моделирование могло бы расширить этот инструментарий: архивные снимки обрабатываются алгоритмами для извлечения пропорциональных отношений и ритмических характеристик, используемых как входные параметры (Рис. 3).

а)  б) 

Рис. 3 Параметрический кирпичный фасад от System Architects в историческом районе Трибека: а) первый ракурс; б) второй ракурс. Фасад «скручивается и течёт, как ткань на ветру», используя кирпич как модульный элемент [6]

Российская реставрационная школа имеет свои традиции и ограничения. Законодательство об объектах культурного наследия устанавливает жёсткие рамки для вмешательства, что создаёт сложности при использовании инновационных методов. Тем не менее потенциал параметрического подхода значителен. В Белгородском государственном технологическом университете им. В. Г. Шухова ведутся исследования по реконструкции исторических объектов. В «Вестнике БГТУ» публиковались работы о реконструкции усадьбы Курчанинова в Белгороде [7]. Эти исследования носят конструктивный характер, однако их методологическая база может быть расширена за счёт параметрических методов анализа контекста. Показателен пример усадьбы графини Ластовской в Белгороде: объект культурного наследия регионального значения выставляется на торги за 1 рубль с условием реставрации и приспособления под современное использование (Рис. 4).

Перед инвестором неизбежно встанет вопрос о включении и интеграции новых функций и объёмов в историческую среду. Параметрические методы могли бы обеспечить инструментальную поддержку таких решений.



Рис. 4 Фрагменты проектного предложения реконструкции с приспособлением ОКН «Усадьба Курчанинова». Разраб. Дубино А.М., Чечель И.Н. [7]

Предлагаемая методологическая рамка включает три этапа. Первый - параметрическая реконструкция исторического контекста: на основе данных обследования создаётся HBIM-модель, в которой ключевые характеристики среды представлены как параметры. Второй - определение «поля допустимых решений»: параметрические ограничения задают границы, внутри которых новое вмешательство не нарушает целостность исторической среды [8]. Третий - генерация и оценка альтернатив: алгоритмические методы позволяют создавать множество вариантов новых объектов и оценивать их по критериям контекстуальной уместности. Параметрические методы не заменяют интуицию архитектора, но делают её основу более выраженной и проверяемой (Рис. 5).

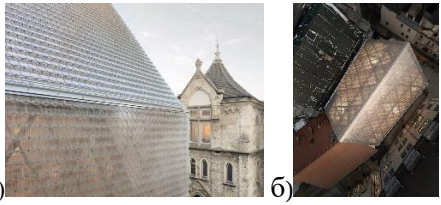


Рис. 5 Новый музей в исторической застройке: а) вид сбоку; б) вид сверху. Стабилизация соседних зданий, непараллельная оболочка, гиперболическая крыша. Параметрика позволила адаптировать новую структуру к сопряжению с историческими зданиями [8]

Параметрическое проектирование может существенно обогатить практику реставрации и вписывания новых объектов в историческую среду. Ключевое преимущество - возможность формализации контекстуальных ограничений и управления формообразованием на основе объективных параметров. Зарубежный опыт, в частности китайский, демонстрирует продуктивность подхода, однако его адаптация к российским условиям требует учёта специфики законодательства и реставрационной традиции. Перспективное направление дальнейших исследований - разработка методик параметрического анализа для конкретных типов исторической застройки (например, усадебной архитектуры Белгородской области) и создание инструментов, доступных практикующим архитекторам-реставраторам [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Frazer J. Parametric Computation: History and Future // Architectural Design. - 2016. - Vol. 86, No. 2. - P. 18–23.
2. Christenson M. Parametric Analysis as a Tool for Hypothesis Generation: A Case Study of the Federal Archive Building in New York City // Infrastructures. - 2025. - Vol. 10, No. 4. - P. 71.
3. Чечель И. П., Перькова М. В., Чечель И. Н. Метод нормативно-ориентированного архитектурного проектирования // Архитектура и строительство России. - 2020. - № 2 (234). - С. 68–73.
4. Poole M., Shvartzberg M. (Eds.). The Politics of Parametricism: Digital Technologies in Architecture. - London: Bloomsbury Academic, 2015. - 264 p.
5. Cheng C., Li F., Guo Z., Li X. Algorithm-Driven Architecture: Harnessing Parametric Design for Architectural Innovation // International Journal of High Speed Electronics & Systems. - 2026. - Vol. 35, No. 3. - P. 1–18.
6. Ramadan L. A., El Mokadem A., Badawy N. Multi-objective optimization framework based on review of form-finding of architectural parametric forms // International Journal of Architectural Computing. - 2026. - Vol. 24, No. 1. - P. 60.
7. Алейникова Н. В. Конкурсные работы студентов БГТУ им. В. Г. Шухова : научное руководство. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2024.
8. Poznań digital twin research team. 3D Digital Modelling of a Historic City: Methodology of Reconstructing an Image of a City Based on

the Case Study of the City of Poznań // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. - 2025. - Vol. XLVIII-M-9-2025. - P. 149-156.

9. Ярмош Т. С., Михайлова И. Д. Ландшафтный урбанизм - новое направление современных концепций развития городского пространства на примере городов России // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2019. - № 4. - С. 71-78.

УДК 69.001.89

Володина Е.В., Фомин Ф.А.
Научный руководитель: Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБЗОР РОССИЙСКИХ ПЛАТФОРМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКОЙ

Современному строительству на сегодняшний день предъявляются высокие требования к качеству, безопасности, экономической эффективности и прозрачности процессов, в связи с этим, цифровое управление становится ключевым элементом жизненного цикла объекта строительства. Цифровое управление строительной площадкой – это система, которая в реальном времени собирает и передает данные о ходе работ, ресурсах и документации. Данный подход позволяет всем участникам строительного процесса следить за ходом реализации объекта, ускоряет сдачу отчетности и непосредственно влияет на экономическую целесообразность проекта.

Двигателями цифровизации в строительной отрасли выступают государственная политика и научные исследования в сфере технологий информационного моделирования (ТИМ) и цифровых двойников [1, 2]. Уже сейчас государство ставит нормативные рамки для стимуляции перехода компании к цифровизации. Одно из необходимых условий участия в государственных проектах, ведения информационной модели объекта строительства, электронный документооборот и передача данных в информационную систему управления проектами Министерства строительства Российской Федерации. В результате чего цифровое управление строительной площадкой перестает быть переводом документов в цифровой вид и становится инструментом контроля за строительным производством.

В современной практике цифровое управление строительной площадкой это не набор отдельных IT-элементов, а целостная инфраструктура. Она объединяет нормативную базу, методы контроля и единую экосистему для совместной работы всех участников проекта. Широкий спектр платформ для цифрового управления строительной площадкой представлен в таблице.

Комплексные платформы управления строительством охватывают максимальный спектр задач: планирование, контроль сроков и бюджета, документооборот, строительный контроль и взаимодействие всех участников.

Таблица – Платформы для цифрового управления строительной площадкой

Комплексные платформы управления строительством (CPM/ERP)	
ЦУС (Цифровое управление строительством)	Одна из самых распространённых облачных платформ. Система интегрирована с ИСУП Минстроя и позволяет вести юридически значимый строительный контроль по ГОСТ Р 70108-2022.
ЦКС (Цифровой Контроль Строительства)	Платформа запущенна по поручению Министерства строительства РФ. Работает с ТИМ-моделями: поиск коллизий, расчёт объёмов, электронная исполнительная документация и полный цифровой след по каждому элементу проекта.
Visary Development	Облачная платформа от НПЦ "БизнесАвтоматика", включённая в реестр отечественного ПО. Соответствует требованиям ФСБ, ФСТЭК и Минобороны, что делает её применимой на объектах с повышенными требованиями к безопасности.
Project Point	Веб-решение и мобильное приложение для совместной работы участников инвестиционно-строительных проектов. С 2023 года контроль над компанией получила "1С", что обеспечивает глубокую интеграцию с учётными системами.
Pragmacore	Пплатформа с модулями управления комплектацией (включая ИИ-функции) и сервисом "Технический заказчик".
АЛТИУС	ERP-система для строительных предприятий с фокусом на ПТО. Позволяет формировать исполнительную документацию в 5 раз быстрее, чем в Excel, связывая данные журналов и актов.
BIM/ТИМ-платформы и среды общих данных	
Pilot-BIM	Среда общих данных для создания единого информационного пространства инвестиционно-строительных проектов.
Renga	BIM-система для комплексной разработки разделов проекта. Также вошла в топ-5 национального рейтинга в категории "BIM-платформы и цифровое проектирование".
Model Studio CS и CADLib	ТИМ-платформа от "СиСофт Девелопмент" для проектирования металлоконструкций, многослойных стен, витражных систем.
nanoCAD BIM Строительство	Решение на платформе nanoCAD для проектирования архитектурной и конструктивной частей зданий. Включает приложение nanoCAD Стройплощадка для разработки ПОС и ППР.
Специализированные решения	
СПДС Стройплощадка и nanoCAD Стройплощадка	Приложения для автоматизации оформления чертежей по разделам ПОС и ППР.
TDMS Фарватер Web	Система проектного документооборота и управления проектированием в строительстве с веб-интерфейсом.

Даже после сдачи объектов в эксплуатацию, его информационная модель не теряет актуальности, с помощью нее можно осуществлять непрерывный мониторинг состояния конструкции [3]. С помощью цифрового двойника можно провести часть испытаний на модели, снижая при этом низкие затраты.

Рассмотрим и сравним российские платформы для цифрового управления строительной площадкой.

«Цифровое управление строительством» (ЦУС) облачная платформа от российской компании «Осмокод», предназначена для сквозной цифровизации строительных процессов [4]. ЦУС охватывает все этапы строительного производства, от проектирования до аналитики, поддерживает работу с ТИМ-моделями. Платформа выступает единой средой для всех участников проекта. Позволяет вести электронный документооборот, выступает внешней информационной системой для обмена данными между надзорными органами и контролируемыми организациями. Платформа контролирует ход работ и помогает вести строительный контроль.

Комплексная облачная модульная платформа «Pragmacore» от компании «Прагма», резидента информационного центра «Сколково» для управления инвестиционно-строительными проектами, нацелена связать в единое пространство систему планирования, финансы и контроль качества проекта. Одна из ключевых особенностей это возможность визуализировать процесс строительства при помощи лазерного сканирования и данных с дронов.

«SODIS Building CM» – цифровая платформа, предназначенная для управления строительным проектом, автомазирует весь цикл работ: от проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию. Участники процесса – заказчик, генподрядчик, проектировщик, огранизации строительного контроля могут эффективно взаимодействовать. Она значительно отличается от других платформ, ее задача это моделирование строительных процессов при помощи типовых сценариев и редактора маршрутных схем. Платформа удобна в работе, когда у компании есть уникальный внутренний регламент. Пользователь платформы может автоматизировать процесс согласования документов. Система автоматически после завершения сотрудником задачи будет генерировать документы и высылать их на согласование и подпись другим сотрудникам. Для успешного и эффективного внедрения платформы в работу компании необходимо четкое описание процесса и роли в проекте.

Система «1С: ERP УСО 2» – это часть системы 1С, которая сфокусирована на финансовом и управленческом учете. С помощью нее можно управлять затратами, контролировать бюджет и работать с бухгалтерией. Система хорошо взаимодействует с другими продуктами системы, подходит компаниям с большим количеством подразделений с единой финансовой средой.

При выборе платформы для цифрового управления строительной площадкой стоит опираться на задачи компании, на ее сильные и слабые стороны. Универсальное решения на сегодняшний день не существует.

Если приоритет компании это соответствие нормативной документации, сдача исполнительной документации и обмен данными с надзорными органами, то лучшим решением будет платформа «Цифровое управление строительством». Система «Pragmacore» подходит для больших проектов, где на первом месте стоят контроль бюджета, прогноз рисков и получение данных со строительной площадки в кратчайшие сроки. Если у компании уникальные внутренние регламенты подойдет «SODIS Building CM», она поможет автоматизировать процессы, но для ее внедрения нужно точное описание процессов и ролей участников проекта. Платформа «1С: ERP УСО 2» незаменима при большом количестве подразделений в компании, которым нужна единая учетная и финансовая среда.

На сегодняшний день платформы не используют изолированно друг от друга, а применяют несколько систем одновременно, что позволяет использовать сильные стороны каждой платформы и закрывать потребности организации. В связи с эти, качественная цифровизация строительной площадки – это не выбор лучшей платформы, а их комбинация для эффективной работы организации и повышения экологичности строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л. А. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников, А. Н. Кривчиков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 12-24.

2. Сулейманова Л. А. Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Университетская наука. – 2023. – № 1(15). – С. 117-119.

3. Сулейманова Л. А. Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства / Л. А.

Сулейманова, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. Том 1. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 240-245.

4. Сулейманова Л. А. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью BIM-технологий / Л. А. Сулейманова, Р. Н. Темурзиева, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции, Белгород, 17 апреля 2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 121-127.Цифровое управление строительством (ЦУС) [Электронный ресурс]. – URL: https://clck.ru/3WSnSh (дата обращения: 29.09.2026).

УДК 004.912

Воскобойников И.С., Булгаков В.Д.
Научный руководитель: Гвоздевский И. Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ

В последние годы объём цифровой информации продолжает стремительно расти, причём значительная её часть представлена в виде неструктурированных данных, включая текстовые документы, сообщения и журналы событий. Такие данные не имеют фиксированной схемы, отличаются разнообразием форматов и значительным объёмом, что существенно усложняет их обработку и передачу в распределённых системах [1].

Одним из перспективных направлений являются децентрализованные системы хранения данных, основанные на одноранговом взаимодействии и контент-адресуемой модели [2]. Подобные системы обеспечивают масштабируемость и устойчивость к отказам, однако имеют ряд особенностей, которые напрямую влияют на эффективность передачи данных. К ним относятся динамическая структура сети, отсутствие централизованного управления и ограниченные ресурсы отдельных узлов [3].

В отличие от централизованных систем, где передача данных происходит по заранее определённым маршрутам, в децентрализованных сетях обмен информацией сопровождается дополнительными накладными расходами. Это выражается в увеличении числа сетевых взаимодействий, необходимости поиска маршрутов и возможном дублировании данных [4]. При обработке неструктурированных текстовых массивов обозначенные трудности приобретают более острый характер, поскольку подобные данные отличаются значительным объёмом и низкой степенью формализации.

Активное распространение децентрализованных технологий пока не привело к достаточному изучению вопросов, связанных с оптимизацией передачи неструктурированных данных [5]. Задачи снижения сетевой нагрузки и повышения эффективности межузлового взаимодействия при работе с текстовой информацией по-прежнему требуют детального рассмотрения.

Работа направлена на разработку и исследование методов, позволяющих оптимизировать передачу неструктурированных текстовых данных в децентрализованных системах хранения.

Передача неструктурированных данных обладает рядом свойств, которые необходимо принимать во внимание при проектировании распределённых систем. Текстовая информация, в отличие от структурированных форматов, не поддаётся естественному разделению на независимые элементы, что существенно осложняет её фрагментарную передачу. В большинстве практических сценариев по сети перемещаются крупные блоки данных, что закономерно увеличивает нагрузку на сетевую инфраструктуру [6].

Отдельного внимания заслуживает необходимость предварительной подготовки данных. Перед аналитической обработкой текстовые массивы проходят через процедуры нормализации, токенизации и фильтрации. Когда предварительные этапы обработки завершены, система располагает очищенными данными, пригодными для дальнейшей передачи [7].

В децентрализованных системах обозначенные свойства текстовых данных приобретают особую практическую значимость. Узлы, обменивающиеся данными напрямую без координирующего центра, генерируют возросшее число отдельных передач, что неизбежно сказывается на суммарном объёме сетевого трафика. Заметную роль здесь играет выбор стратегии фрагментации: блоки неподходящего размера либо порождают избыточное число

межузловых обменов, либо увеличивают время ожидания при последующем доступе к нужному фрагменту.

Архитектурные особенности децентрализованных систем в равной мере влияют на скорость и надёжность передачи. Состав участников сети меняется непрерывно: одни узлы подключаются, другие выбывают, и такая текучесть порождает нестабильность маршрутов, удлиняя время доставки данных до адресата [8].

Распределённые хеш-таблицы справляются с задачей поиска данных достаточно хорошо, однако обработка каждого запроса требует прохождения цепочки последовательных переходов между узлами, и чем длиннее эта цепочка, тем ощутимее накопленная задержка. Чем длиннее такая цепочка, тем ощутимее суммарная задержка и тем выше нагрузка на сетевую инфраструктуру.

Отдельную сложность представляет разнородность узлов. Реальные системы объединяют устройства с существенно различающимися вычислительными мощностями и пропускной способностью каналов, что ведёт к неравномерному распределению нагрузки и возникновению узких мест в отдельных точках сети. Дополнительный вклад в совокупный объём передаваемых данных вносит репликация, без которой обеспечить надёжность хранения в распределённой среде затруднительно [9].

Для повышения эффективности передачи предлагается задействовать несколько взаимодополняющих подходов.

Первый из них опирается на формирование компактных представлений. Вместо полного текстового содержимого по сети передаются его сжатые производные: наборы термов, хеш-идентификаторы и сопутствующие метаданные. Подобный подход позволяет существенно сократить объём передаваемой информации, тогда как полный текст запрашивается лишь при непосредственном обращении к документу [10].

Второй подход предполагает адаптивное формирование блоков. Фиксированное разбиение уступает место динамическому, при котором размер блоков определяется с учётом характеристик конкретного массива данных и актуального состояния сети. Такой подход позволяет более эффективно использовать пропускную способность сети и снижать задержки при передаче.

Третий метод направлен на оптимизацию маршрутизации. В децентрализованных системах поиск данных часто требует нескольких сетевых переходов. Локальные стратегии маршрутизации, при которых предпочтение отдаётся географически близким или ранее

задействованным узлам, способны сократить число промежуточных переходов. Дополнительным инструментом служит кэширование, уменьшающее частоту повторных запросов и снижающее нагрузку на сетевую инфраструктуру. Совместное применение указанных подходов создаёт условия для сокращения объёма передаваемых данных, уменьшения задержек и повышения устойчивости системы к топологическим изменениям.

Вместе с тем рассмотренные методы имеют определённые ограничения. Результативность их применения во многом определяется качеством предварительной обработки данных и точностью формирования компактных представлений. Адаптивное формирование блоков предполагает учёт текущего состояния сети, получение которого в распределённой среде не всегда осуществимо.

Методы маршрутизации демонстрируют чувствительность к изменениям сетевой топологии, а механизмы кэширования нуждаются в процедурах актуализации хранимых данных. Следует также отметить, что экспериментальная верификация предложенных подходов в рамках данной работы не проводилась, что сужает возможности количественной оценки их практической эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gandomi A., Haider M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics // International Journal of Information Management. – 2015. – Vol. 35, No. 2. – P. 137–144.

2. Benet J. IPFS – Content Addressed, Versioned, P2P File System // arXiv preprint. – 2014. – arXiv:1407.3561.

3. Stoica I., Morris R., Liben-Nowell D., Karger D. R., Kaashoek M. F., Dabek F., Balakrishnan H. Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Protocol for Internet Applications // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 17–32.

4. Maymounkov P., Mazieres D. Kademlia: A Peer-to-Peer Information System Based on the XOR Metric // IPTPS. – 2002. – P. 53–65.

5. Xu Y., Chen L. Efficient Indexing and Query Processing in Distributed Text Retrieval Systems // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 112345–112357.

6. Фирова, Д. В. Обзор методов и средств извлечения числовых данных из неструктурированный документов на естественном языке / Д. В. Фирова, М. Ю. Барышникова // Матрица научного познания. – 2022. – № 2-1. – С. 56-71.

7. Михнев, И. П. Цифровые технологии Big Data в современном высшем образовании: технологии поиска и обработки неструктурированной информации / И. П. Михнев // Преподавание информационных технологий в российской Федерации : Материалы Семнадцатой открытой Всероссийской конференции, Новосибирск, 16–17 мая 2019 года / Ответственный редактор А. В. Альминдеров. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2019. – С. 326-329.

8. Гвоздевский, И. Н. Разработка онтологий для функционирования распределенных вычислительных систем, основанных на агентном подходе / И. Н. Гвоздевский // Электронный научный журнал. – 2016. – № 1(4). – С. 120-125.

9. Булгаков, В. Д. Методы шифрования и защиты неструктурированных данных в децентрализованных блокчейн-хранилищах / В. Д. Булгаков, И. С. Воскобойников // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 54-59.

10. Воскобойников, И. С. Модели и методы обработки неструктурированных данных в архитектуре озёр данных / И. С. Воскобойников // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XVII Международного молодежного форума, Белгород, 30–31 октября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 119-123.

УДК 71

Галушко А.А., Меньшуткина М.Ю.
Научный руководитель: Ярмош Т.С., канд. соц. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РОЛЬ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ФОРМИРОВАНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЗЕЛЁНОГО КАРКАСА ГОРОДА

В современной градостроительной практике зелёные территории рассматриваются не только как совокупность отдельных парков, скверов и озеленённых участков, но и как пространственная система, обеспечивающая экологические, рекреационные и пешеходные связи между различными частями города. Такой подход связан с переходом

от объектного благоустройства к формированию непрерывной системы озеленённых территорий. В отечественной градостроительной и ландшафтной теории система зелёных насаждений рассматривается как важнейший элемент планировочной структуры города, выполняющий одновременно экологические, санитарно-гигиенические, рекреационные и композиционные функции [1; 2]. Особое значение в структуре такой системы имеют малые реки и ручьи. В отличие от крупных городских рек, они чаще сохраняют связь с природными долинами, оврагами, лесными массивами и незастроенными территориями. Поэтому их потенциал заключается не только в организации пространства непосредственно у воды, но и в формировании линейных связей между разрозненными зелёными территориями.

Российская практика последних лет демонстрирует несколько различных моделей использования речных территорий. Для города Губкина данная проблема представляет особый интерес. Здесь уже существуют взаимосвязанные природные и рекреационные территории: долина Тёплого Колодезя, городской пруд, территория «Губкин-Лесопляж», Осколец и природный парк «Бионика». Поэтому целесообразно рассматривать Губкин не как объект отдельного благоустройства, а как территорию, где может быть сформирована система пространственных связей на основе существующих природных элементов. В традиционной структуре города водоток часто рассматривается как локальный природный объект, вокруг которого формируется ограниченная зона благоустройства. Однако в системе зелёной инфраструктуры его значение шире. Речная долина может одновременно выполнять функции экологического коридора, пешеходного маршрута, рекреационной территории, визуальной связи и элемента ландшафтной композиции [3].

Принципиальным показателем становится пространственная непрерывность. Она может обеспечиваться не только дорожкой вдоль воды, но и системой мостов, экологических троп, озеленённых улиц, площадей и общественных пространств. Таким образом, водоток становится каркасным элементом при сочетании трёх характеристик: природной непрерывности, пространственной доступности и функциональной связанности. Природная непрерывность предполагает сохранение русла, поймы и растительности [4]. Пространственная доступность означает возможность пройти вдоль водотока, пересечь его и попасть к воде или к видовой точке. Функциональная связанность определяется включением долины в систему парков, скверов, жилых

территорий и общественных пространств. Именно сочетание этих характеристик отличает каркасный элемент от обычной благоустроенной набережной.

Пермский опыт Долины Егошихи и Данилихи (Рис.1) наиболее близок к рассматриваемой проблематике. Долины малых рек используются как основа формирования единой системы природных и рекреационных территорий. Важной особенностью является работа не только с береговой линией, но со всей долиной: пешеходные маршруты, экотропы, мостики и рекреационные площадки чередуются с участками естественной растительности. Такой подход показывает, что благоустройство не обязательно должно быть равномерным. Наиболее природные участки сохраняют экологическую функцию, а повышенная концентрация инфраструктуры переносится в отдельные узлы.



Рис. 1. Пермь. Долина реки Егошихи: природный рекреационный маршрут

Для Губкина это особенно актуально: долина Тёплого Колодезя может рассматриваться как последовательность участков различной степени благоустроенности, а не как непрерывная набережная.

Московская практика в Долине Яузы (Рис.2) демонстрирует другой аспект — использование водотока как связующего элемента между разрозненными парками и природными территориями. В данном случае важна не столько единообразная архитектура маршрута, сколько возможность непрерывного перемещения между различными типами зелёных пространств. Водоток выступает пространственным ориентиром, объединяющим отдельные участки в более крупную систему. Для Губкина данный принцип позволяет переосмыслить уже существующие объекты: городской пруд, Тёплый Колодезь, Бионику,

Осколец и «Лесопляж» следует рассматривать не как независимые территории, а как последовательность узлов и связей.

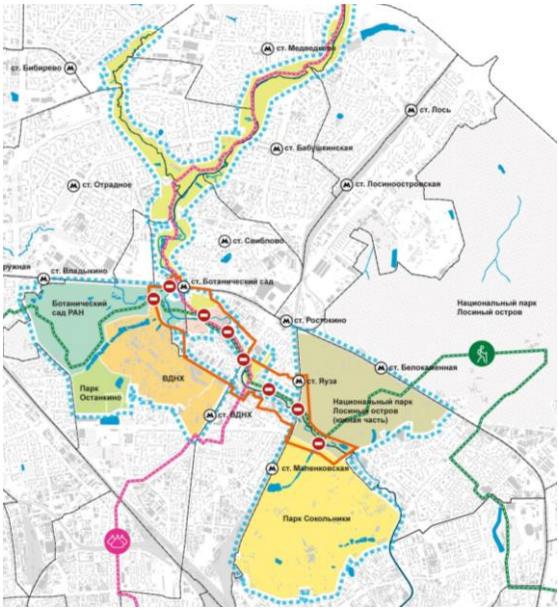


Рис. 2. Москва. Долина Яузы: связь парков и природных территорий.

Тульский пример представляет иной тип — формирование насыщенного общественного пространства у воды. Здесь прибрежная (Рис.3) территория получает высокую архитектурную и функциональную нагрузку. Водный объект становится центром городской активности, а набережная — самостоятельным общественным пространством. Этот опыт важен для Губкина как пример локального усиления отдельных узлов. Однако полное перенесение такой модели на природные долины было бы нецелесообразно: участки Тёплого Колодезя и Оскольца требуют сохранения более природного характера.



Рис. 3. Тула. Упа: общественное пространство у воды.

Казань. Озеро Кабан. Хотя Кабан не относится к малым водотокам, его благоустройство позволяет рассмотреть принцип непрерывного маршрута вокруг водного объекта. Пешеходные связи, общественные пространства и озеленённые участки формируют последовательную систему. Для исследования малых водотоков важен сам принцип: вода становится не границей, а организующей осью пространства.

Природно-рекреационная модель основана на сохранении долины и размещении инфраструктуры отдельными узлами [5]. Связующая модель ориентирована на объединение уже существующих парков и природных территорий. Общественная модель предполагает концентрацию функций непосредственно у воды. Маршрутная модель делает акцент на непрерывности движения вдоль водного объекта. Для небольшого города наиболее устойчивой представляется комбинация данных подходов. Вдоль одного водотока могут последовательно располагаться природный участок, экологическая тропа, рекреационный узел, общественное пространство, мост и вновь природный участок.

На основании сравнительного анализа можно сформулировать пять принципов интеграции малых водотоков в рекреационный каркас.

Первый принцип — формирование непрерывного маршрута. Второй принцип — сохранение природных участков. Не каждый фрагмент долины требует твёрдого покрытия, освещения и набора малых архитектурных форм. Природный характер территории сам по себе является рекреационным ресурсом. Третий принцип —

концентрация функций в узлах. Площадки отдыха, смотровые площадки, небольшие павильоны, спортивные и детские пространства целесообразно размещать точечно, не перегружая всю долину инфраструктурой. Четвёртый принцип — организация переходов. Мосты, проходы, лестницы и пешеходные связи должны рассматриваться как узлы каркаса, обеспечивающие преодоление транспортных и инженерных барьеров. Пятый принцип — создание различных форм контакта с водой. Это может быть непосредственный выход к берегу, настил или смотровая площадка.

Сравнительный анализ показывает, что малые водотоки способны выполнять значительно более широкую функцию, чем организация локальной набережной. Опыт Перми демонстрирует возможность использования речных долин как основы экологического и рекреационного каркаса; Москва показывает значение водотока как связующего элемента; Тула — потенциал общественного пространства у воды; Казань — возможности формирования непрерывного маршрута. Для Губкина наиболее перспективной является комбинация этих подходов. Существующие долины и рекреационные территории позволяют перейти от проектирования отдельных объектов благоустройства к формированию системы взаимосвязанных природных и общественных пространств.

Последовательность «Тёплый Колодезь — городской пруд — Бионика — Осколец — Лесопляж» может рассматриваться как основа водно-рекреационного каркаса города. При этом принципиально важно сохранять различный характер отдельных участков: природные территории, экологические маршруты, рекреационные узлы и общественные пространства должны чередоваться, формируя разнообразную пространственную систему.

Таким образом, малые водотоки следует рассматривать как линейные структурообразующие элементы непрерывного зелёного и рекреационного каркаса [6]. Их потенциал раскрывается не за счёт тотального благоустройства берегов, а посредством установления пространственных связей между природными территориями, рекреационными маршрутами и общественными узлами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горохов В. А. Зелёная природа города / Горохов В. А — 2-е изд. — М: Архитектура-С — 2005 — 598 с.
2. Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А. Зелёная

инфраструктура города: оценка состояния и проектирование / Климанова О. А. — М.: КМК, 2021 — 324 с.

3. Ярмош Т. С., Михайлова И.Д. Социокультурное ландшафтное проектирование // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. — 2018. — Т.9, № 4. — 5-7 С.

4. Авадяева Е. Н. Русский ландшафтный дизайн / Авадяева Е. Н.; под ред. Н.П. Титовой -Москва: ОЛМА-ПРЕСС — 2000. — 383 С.

5. Ярмош Т. С., Краснопивцева П. В., Галдин Р. Е., Алейникова Н. В. Формирование современного общественно-рекреационного пространства вдоль р.Северский Донец в г. Белгород // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. Строительство и архитектура. — 2022 — №2 — 1-4 С.

6. Низамиева Э. Р. Подготовка российских специалистов к применению "зеленых" стандартов // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. Строительство и архитектура. — 2021 — №8 — 2-4 С.

УДК 656.08:004.8

Гапич А.А., Стребков А.Ю.
Научный руководитель: Прокопенко В.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЗАГОРОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Обеспечение безопасности нерегулируемых участников дорожного движения остаётся одной из приоритетных задач при развитии интеллектуальных транспортных систем. Наибольшую опасность представляют наезды на пешеходов на нерегулируемых переходах, расположенных на загородных трассах, особенно в условиях недостаточной видимости и высоких скоростей. При движении со скоростью 90-110 км/ч стандартные методы предупреждения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) часто оказываются неэффективными из-за недостатка времени для реакции водителя и торможения. Цель данной работы - провести анализ существующих систем обнаружения пешеходов, выявить их системные ограничения и определить направления дальнейших исследований [11].

Все применяемые в настоящее время технические и организационные решения можно разделить на две группы: пассивные инфраструктурные средства и бортовые системы автомобилей.

К пассивным инфраструктурным средствам относят традиционные методы организации дорожного движения. Это дорожные знаки пешеходный переход, горизонтальная разметка, искусственные неровности и светофоры. Сюда же входят разметка типа зебра, лежачие полицейские и светофорные объекты на регулируемых переходах. Они не реагируют на текущую обстановку и работают по шаблону. [1]

К достоинствам традиционных средств организации движения можно отнести их низкую стоимость и легкость в обслуживании. За исключением светофоров, они не требуют подключения к электросети. Однако их функционал ограничен: они не учитывают динамику дорожной ситуации. В условиях плохой видимости их эффективность стремится к нулю. Кроме того, они не дают водителю достаточного времени на маневр: при стандартном знаке, заметном со 150 метров, на скорости 90 км/ч у водителя есть всего несколько секунд до перехода. Это делает их менее эффективными по сравнению с современными бортовыми системами безопасности (автоторможение, адаптивный круиз-контроль), которые используют высокотехнологичные датчики для анализа обстановки. Ключевые достоинства и ограничения систем активной безопасности

Системы данного типа интегрированы с комплексами безопасности автомобиля и способны самостоятельно замедлять или полностью останавливать транспортное средство в критических ситуациях. Однако их эксплуатация сопряжена с рядом ограничений:

Недостаточная дальность обзора: дистанция обнаружения (обычно до 150–200 м) не позволяет вовремя среагировать на высоких скоростях.

Зависимость от внешних условий: эффективность датчиков падает при плохой погоде, загрязнении оптики или ослеплении встречным светом.

Эффект «экранирования»: объекты на обочине (растительность, припаркованные машины) создают «слепые зоны», из-за чего появление пешехода становится неожиданным, а торможение — запоздалым.

Реактивность: система срабатывает только по факту возникновения угрозы, не обладая функцией превентивного прогнозирования.

Параллельно ведутся научные изыскания по оптимизации транспортных потоков, однако предлагаемые решения пока имеют узкую специализацию.

В исследовании А.Г. Локтионовой [1] предложена концепция «калиброванного автомобиля» для повышения пропускной

способности регулируемых перекрёстков. Рассматриваемый математический аппарат демонстрирует высокую эффективность при анализе интенсивных транспортных потоков в городской среде. Однако его применение для моделирования ситуации, связанной с неожиданным появлением отдельного пешехода на скоростной загородной дороге, является ограниченным.

Ву Тхи Ван Ань [2] поднимает тему ситуационного управления и динамического изменения маршрутов транспортных потоков в мегаполисе. Инструмент - нейросетевое прогнозирование. Однако пешеход в этой модели не является самостоятельным активным объектом управления. Загородные линейные участки дорог тоже остались за рамками. По моему мнению, это принципиальный момент. Мегаполис и загородная трасса — принципиально разные условия. В городе пешеходов много, скорость потока ниже, освещение почти везде. За городом картина обратная. Человека на обочине можно не заметить вплоть до критической дистанции. Метод Ву Тхи Ван Ань хорошо работает для плотной городской застройки, но для трассы его нужно серьёзно дорабатывать.

Новиков И.А., Шевцова А.Г., Локтионова А.Г. и Сердюк Д.А. [3] предложили комплексную систему предотвращения дорожно-транспортных происшествий на нерегулируемых пешеходных переходах. В основе - визуальные и звуковые средства оповещения. Решение практичное. Но архитектура ориентирована на городскую среду. Там есть базовая инфраструктура, стационарные источники освещения, электропитание, обслуживание. На загородной дороге этого может не быть вообще. Авторы проанализировали существующие системы предупреждения водителей. Результат анализа показал следующее. Пассивные инфраструктурные средства - знаки, разметка, светофоры - стоят недорого. Но к дорожной ситуации они не адаптируются. В туман, дождь или снег эффективность близка к нулю. Бортовые системы автомобилей, включая АЕВ и адаптивный круиз-контроль, связаны с тормозной системой. Это их сильная сторона. Однако дальность обнаружения составляет всего 150–200 метров. При плохой погоде возможны сбои. Из личного опыта - адаптивный круиз-контроль в сильный ливень просто отключается. Водитель остаётся без поддержки.

Ни одна из рассмотренных систем не обеспечивает безопасность на нерегулируемых переходах загородных трасс в полном объёме. Особенно в тёмное время суток. Особенно при неблагоприятных погодных условиях. Это не субъективное впечатление, а вывод,

который подтверждает необходимость дальнейших научных исследований. Требуются автономные инфраструктурные комплексы. Они должны определять пешехода на подходе к переходу. И передавать сигнал раннего предупреждения непосредственно водителю. Либо на светосигнальные щиты. Причём щиты должны располагаться за пределами зоны видимости фар. Тогда водитель получает информацию о человеке заранее. Появляется время на реакцию. На мой взгляд, это направление сейчас незаслуженно обделено вниманием. Основные силы брошены на беспилотные автомобили и бортовые радары. Инфраструктура на дороге остаётся на втором плане. А ведь именно она способна спасать жизни уже сегодня. Без ожидания, пока автопарк полностью обновится.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Локтионова А.Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых перекрёстках на основе учёта динамических параметров легковых автомобилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 2.9.5. — Орёл, 2024. — 20 с.

2. Ву Тхи Ван Ань. Разработка функциональной подсистемы интеллектуальной транспортной системы ситуационного управления транспортными потоками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 2.9.5. — М.: МАДИ, 2024. — 20 с.

3. Новиков И.А., Шевцова А.Г., Локтионова А.Г., Сердюк Д.А. Разработка системы предупреждения ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2024. — № 5. — С. 45–52.

4. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. — М.: Стандартинформ, 2020. — 116 с.

5. ГОСТ Р 58652-2019. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к системам предупреждения о пешеходах. — М.: Стандартинформ, 2020. — 24 с.

6. Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru (дата обращения: 04.10.2026).

7. Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В. и др. V2X-коммуникации в интеллектуальных транспортных системах: состояние и перспективы // Электросвязь. — 2023. — № 4. — С. 12–21.

8. Rasouli A., Tsotsos J.K. Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2020. — Vol. 21, No. 3. — P. 900–918.

9. European Commission. Road Safety Thematic Report — Pedestrians and Vulnerable Road Users. — Brussels: ERSO, 2023. — 48 p.

10. Инновационные подходы в стратегии цифровой трансформации региональной экономики: монография / под общ. ред. проф. А.С. Трошина. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2026. — 269 с.

УДК 004.62

Гирин М.А.
Научный руководитель: Маматов А.В. д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ АБИТУРИЕНТА

Абитуриент может первоначально заполнить регистрационную форму на сайте университета, затем обратиться в приёмную комиссию, а позднее воспользоваться другим электронным сервисом образовательной организации. В результате сведения об одном человеке оказываются распределены между несколькими информационными источниками. При этом состав записей может различаться, отдельные атрибуты могут отсутствовать или содержать ошибки. Возникает задача установления соответствия между записями и объединения полученной информации.

Вопросы информационного обеспечения управленческих процессов рассматриваются в работе А.В. Маматова и И.С. Константинова [1]. Возможности автоматизации обработки информации представлены в исследованиях [2, 3]. Подходы к консолидации сведений из различных информационных систем рассматриваются в работах [4, 5], посвящённых управлению мастер-данными. Применительно к образовательной организации данные подходы требуют учёта особенностей регистрации обращений и изменения сведений об абитуриентах в процессе поступления.

Цель исследования заключается в разработке модели сопоставления многоканальных данных об абитуриентах и проверке

влияния порогового значения на результаты идентификации записей. Рассматриваемая задача является одним из этапов формирования единого информационного профиля абитуриента, необходимого для последующего анализа его взаимодействия с университетом.

Представим информационную среду образовательной организации в виде множества источников:

$$C = \{C_1, C_2, ..., C_m\}, \quad (1)$$

где C_i — информационный канал; m — количество используемых каналов.

Каждый источник содержит множество записей R_i. Отдельная запись представляется в виде:

$$r = (f, p, e, d, c, t), \quad (2)$$

где f — фамилия, имя и отчество; p — номер телефона; e — электронная почта; d — дата рождения; c — идентификатор источника; t — время регистрации записи.

Перед сопоставлением выполняется нормализация атрибутов. Для телефонных номеров предусматривается удаление разделителей и приведение к единому формату, для адресов электронной почты — нормализация регистра, для текстовых полей — устранение лишних пробелов. В рассматриваемом эксперименте предполагается, что все идентификационные признаки заполнены.

Для определения степени соответствия двух записей предлагается использовать взвешенную функцию сходства:

$$S(a,b) = \Sigma w_i s_i(a,b) / \Sigma w_i, \quad (3)$$

где S(a,b) — интегральная оценка сходства записей a и b; w_i — вес соответствующего признака; $s_i(a,b)$ — функция сравнения значений признака. Суммирование выполняется по четырём идентификационным признакам.

В базовой реализации применяется бинарное сравнение: значение $s_i(a,b)$ равно единице при совпадении нормализованных атрибутов и нулю при их несовпадении.

Для экспериментальной проверки установлены следующие весовые коэффициенты: ФИО — 0,35; номер телефона — 0,30; электронная почта — 0,20; дата рождения — 0,15. Их сумма равна единице. Значения выбраны как параметры модельного эксперимента и не являются результатом статистической оптимизации.

Решение о соответствии записей определяется пороговым правилом:

$$D(a,b) = 1 \text{ при } S(a,b) \geq \tau; D(a,b) = 0 \text{ при } S(a,b) < \tau, \quad (4)$$

где τ — пороговое значение интегральной оценки; D(a,b) — результат классификации пары записей.

Для дальнейшего объединения информации предлагается формировать единый профиль:

$$P = (I, A, H), \quad (5)$$

где I — внутренний идентификатор абитуриента; A — совокупность его атрибутов; H — история поступления и изменения сведений.

В историю H включаются значения атрибутов, идентификаторы источников и время регистрации. При возникновении противоречий между записями сохраняются исходные значения до их уточнения. Это позволяет избежать потери информации при последующей обработке данных. Данный механизм рассматривается как проектируемая часть системы и в эксперименте отдельно не проверяется.

Для исследования поведения порогового правила сформирован синтетический набор из 12 пар записей. Шесть пар заданы как относящиеся к одному абитуриенту, остальные шесть — как относящиеся к разным лицам.

Каждая пара представлена четырьмя бинарными признаками, расположенными в порядке: ФИО, телефон, электронная почта, дата рождения.

Для совпадающих пар использованы комбинации 1111, 1101, 1011, 0111, 1100, 1001. Для несовпадающих — 0000, 1000, 0100, 0011, 1010, 1100.

Повторение комбинации 1100 в двух классах предусмотрено для моделирования ситуации, когда совпадение отдельных атрибутов не позволяет однозначно установить принадлежность записей одному человеку.

В качестве базового метода использовано сопоставление исключительно по адресу электронной почты. Если электронные адреса совпадают, записи классифицируются как относящиеся к одному абитуриенту. Для взвешенного метода выполнены расчёты при пороговых значениях 0,55; 0,65 и 0,75.

Таблица — Сравнение результатов сопоставления записей

Метод сопоставления	TP	FP	FN	F1
По электронной почте	3	2	3	0,545
Взвешенный, $\tau = 0{,}55$	5	2	1	0,769
Взвешенный, $\tau = 0{,}65$	5	1	1	0,833
Взвешенный, $\tau = 0{,}75$	2	0	4	0,500

В таблице TP обозначает количество правильно установленных совпадений, FP — количество ошибочных объединений, FN — количество пропущенных совпадений.

Для количественной оценки используется F1-мера:

$$F1 = 2TP / (2TP + FP + FN) \quad (6)$$

При пороговом значении $\tau = 0{,}65$ получено пять истинно положительных, пять истинно отрицательных, одно ложноположительное и одно ложноотрицательное решение. Таким образом, правильно классифицированы десять из двенадцати пар. Значение F1-меры составило 0,833.

При использовании только электронной почты правильно определены семь пар, а значение F1 составило 0,545. Это показывает преимущество взвешенного правила в рамках сформированного тестового набора, но не позволяет утверждать, что аналогичное соотношение сохранится на реальных данных.

Изменение порога существенно влияет на результаты классификации. При $\tau = 0{,}55$ увеличивается количество ложных объединений. Повышение порога до 0,75 исключает ложноположительные решения, однако приводит к пропуску четырёх совпадающих пар.

Отдельного внимания заслуживают две пары с одинаковой комбинацией признаков 1100. Для них интегральная оценка составляет:

$$S = 0{,}35 + 0{,}30 = 0{,}65 \quad (7)$$

При выбранном пороге обе пары классифицируются как совпадающие, хотя одна из них относится к разным людям. Следовательно, использование одинакового набора бинарных признаков не всегда позволяет принять правильное решение.

Для устранения подобных ситуаций целесообразно предусмотреть дополнительное состояние классификации — необходимость ручной проверки. Такое решение позволит не объединять автоматически записи, для которых имеющихся признаков недостаточно.

Полученные результаты также указывают на необходимость дальнейшего исследования способов определения весовых коэффициентов. В данном эксперименте они установлены предварительно, без обучения модели на реальных данных. При практическом использовании потребуется учитывать частичные совпадения ФИО, изменение контактных сведений и отсутствие отдельных атрибутов.

Следует учитывать, что экспериментальный набор сформирован искусственно и включает небольшое количество записей. Поэтому рассчитанные показатели характеризуют работу предложенного правила только в заданных условиях. Оценка качества идентификации на реальных данных приёмной комиссии требует отдельного исследования.

В результате работы предложена модель интеграции многоканальных данных об абитуриентах, основанная на предварительной идентификации записей и последующем формировании единого информационного профиля. Проведено сравнение взвешенного метода с сопоставлением по электронной почте, исследовано влияние порогового значения и выявлены случаи неоднозначной классификации.

Дальнейшее развитие исследования предполагает расширение экспериментального набора, применение методов частичного сравнения текстовых атрибутов и разработку механизма адаптивного определения весовых коэффициентов. Предложенная модель может рассматриваться как один из компонентов информационной системы управления жизненным циклом абитуриента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маматов А.В., Константинов И.С. Информационное обеспечение процессов управления кадровым потенциалом на региональном уровне // Университетская наука. — 2019. — № 2 (8). — С. 115–118.

2. Худасова О.Г., Иващук О.А., Шеметова О.М., Маматов А.В., Федоров В.И., Нестерова Е.В. Автоматизированная система научных исследований и обучения // Современные наукоемкие технологии. — 2026. — № 2. — С. 98–103. — DOI: 10.17513/snt.40677.

3. Афонин А.Н., Лебединский Д.К., Шеметова О.М., Нестерова Е.В., Федоров В.И., Маматов А.В. Автоматизация процесса

идентификации заготовок // Современные наукоемкие технологии. — 2025. — № 12. — С. 10–16. — DOI: 10.17513/snt.40599.

4. Кузнецов С.В., Цырюльников А.В., Кознов Д.В. Unidata: открытая компонентная платформа для разработки MDM-решений // Труды Института системного программирования РАН. — 2021. — Т. 33. — № 6. — С. 149–160. — DOI: 10.15514/ISPRAS-2021-33(6)-10.

5. Кузнецов С.В., Кознов Д.В. Управление мастер-данными в рамках итеративного подхода // Онтология проектирования. — 2021. — Т. 11. — № 2 (40). — С. 170–184. — DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-2-170-184.

УДК 004.932

Голосная Д.И.
Научный руководитель: Стеценко О.Н., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТИВНЫХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Оценка качества цифровых изображений (Image Quality Assessment, IQA) применяется в алгоритмах сжатия при передаче информации, а также для фильтрации, восстановлении и генерации изображений. Существуют субъективные методы, основанные на экспертных оценках и показателях MOS/DMOS, которые учитывают особенности человеческого зрительного восприятия, однако требуют времени и участия испытуемых. В связи с этим большое значение имеют объективные метрики оценки качества, позволяющие автоматически количественно оценивать искажения [1, 2, 10].

По наличию исходного изображения объективные метрики оценки качества принято разделять на полноэталонные (Full-Reference, FR), частично-эталонные (Reduced-Reference, RR) и безэталонные (No-Reference, NR). В классическом подходе наиболее распространены полноэталонные объективные метрики MSE, PSNR и SSIM. Современные исследования дополняют их метриками, ориентированными на структурные особенности, информационное содержание и перцептивное сходство изображений [2, 3].

Среднеквадратичная ошибка MSE характеризует среднюю квадратичную разницу между эталонным и искаженным изображениями:

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (1)$$

Пиковое отношение сигнала к шуму PSNR связано с MSE логарифмической зависимостью:

$$PSNR = 10 \cdot log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

Вычисляются MSE и PSNR просто, интерпретируются однозначно — в этом их преимущество. Но оценивают они главным образом попиксельную ошибку, а пространственные структурные особенности не учитывают. Отсюда и известный парадокс: одинаковый PSNR у двух изображений вовсе не гарантирует одинакового визуального качества [2, 4].

Метрика SSIM учитывает локальные характеристики яркости, контраста и структуры. Расчет индекса структурного подобия между двумя окнами x и y определяется выражением:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x{}^2 + \mu_y{}^2 + C_1)(\sigma_x{}^2 + \sigma_y{}^2 + C_2)} \quad (3)$$

где μ_x и μ_y— средние значения яркости изображений x и y; $\sigma_x{}^2$ и $\sigma_y{}^2$ — дисперсии; σ_{xy} — ковариация между x и y; C_1 и C_2 — константы стабильности. По сравнению с MSE и PSNR метрика SSIM лучше отражает структурные изменения, однако также не является универсальной. Например, при изменениях цветности изображения SSIM может демонстрировать небольшое изменение даже тогда, когда PSNR фиксирует значительную попиксельную ошибку [3, 5].

Метрика среднего контраста (СК), рассчитываемая через средний градиент яркости, чаще всего рассматривается как дополнительный дескриптор. Она может использоваться для определения потери резкости и микроконтраста, но сама по себе СК не описывает все составляющие воспринимаемого качества.

Развитие методов объективной оценки качества изображений связано с переходом от непосредственного сравнения пикселей к более сложному анализу структурных и перцептивных признаков, учитывающих контекст изображения. Например, MS-SSIM расширяет SSIM за счет многоуровневого анализа изображения с разным масштабом.

VIF (Visual Information Fidelity) оценивает сохранность визуальной информации на основе информационно-теоретической модели,

показывая, какая доля значимой информации об оригинале сохранена в искажённом изображении [5, 6].

LPIPS (Learned Perceptual Image Patch Similarity) использует признаки глубоких нейронных сетей и оценивает расстояние между представлениями изображений в пространстве признаков. Поэтому метрика особенно актуальна для задач восстановления, сверхразрешения и генерации изображений [4].

DISTS (Deep Image Structure and Texture Similarity) также относится к перцептивным подходам и при оценке объединяет характеристики структурного сходства и текстуры [7].

Для случаев, когда эталонное изображение отсутствует, применяются NR-метрики. Рассмотрим далее два популярных метода.

BRISQUE (Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator) оценивает отклонение статистических характеристик изображения от закономерностей, наблюдаемых в естественных изображениях, и хорошо коррелирует с визуальной оценкой [8].

NIQE (Natural Image Quality Evaluator) использует модель статистики естественных сцен [9].

Отсюда следует, что NR-метрики приобретают особое значение при мониторинге изображений, поступающих непосредственно с камер или из систем обработки, когда оригинал недоступен [8, 9].

Одна и та же операция по обработке изображения может восприниматься разными метриками как существенно различная по степени искаженности.

Это подтверждает тот факт, что выбор метрики оценки качества изображения должен определяться не только алгоритмом обработки, но и самим содержанием изображения. В работах, посвященных исследованиям алгоритма JPEG, предлагается учитывать PSNR и SSIM одновременно при выборе параметров кодирования [3]. Далее приведена сравнительная таблица, учитывающая характерные особенности изображений с разной степенью насыщенности и предлагаемая комбинации использования метрик оценки качества.

Таблица - Результаты исследования применимости метрик

Категория визуального контента	**Характерные особенности изображения**	**Рекомендуемая комбинация метрик оценки качества**
Природные сцены	Текстуры, градиенты, высокая вариативность	PSNR + MS-SSIM + LPIPS
Архитектура	Прямые линии, контуры, геометрия	PSNR + SSIM + CK

Портреты	Плавные переходы, тональные изменения, детали лица	SSIM + LPIPS + СК
Искусственное изображение	Однородные области, контрастные границы	PSNR + SSIM + СК
Гибридные сцены	Фото + текст, схемы, графика	PSNR + MS-SSIM + LPIPS
Без эталона	Оригинал отсутствует	BRISQUE + NIQE + СК

Как можно видеть в таблице выше, набор рекомендуемых метрик существенно варьируется в зависимости от семантической группы изображений. Для природных сцен и гибридных изображений предлагается идентичная комбинация PSNR + MS-SSIM + LPIPS, что указывает на схожесть требований к оценке, таких как необходимость одновременного контроля попиксельной точности, многомасштабного структурного сходства и перцептивного качества.

Для архитектурных объектов и искусственных изображений рекомендуется другой набор — PSNR + SSIM + СК, в котором вместо MS-SSIM и LPIPS используется классический SSIM и локальный контраст. Этот подход обоснован тем, что для геометрически правильных и однородных объектов структурные искажения оцениваются на одном масштабе, а перцептивная компонента (LPIPS) может оказаться избыточной.

Для портретов предлагается комбинация метрик SSIM + LPIPS + СК, но без PSNR, так как пиковое отношение сигнал/шум будет менее значимым фактором, чем структурные и текстурные искажения лица. Основную роль будут играть перцептивное сходство (LPIPS) и локальный контраст, что вполне согласуется со зрительным восприятием человека к мелким деталям и плавным тональным переходам в области лица.

Для случаев отсутствия эталона предлагается набор метрик оценки качества BRISQUE + NIQE + СК. При этом стоит отметить, что в подавляющем большинстве исследований BRISQUE и NIQE используются как альтернативные метрики, поскольку они основаны на разных моделях естественных сцен. Поэтому их совместное применение требует агрегации (например, усреднения или взвешивания полученных оценок) [8, 9].

Проведенное исследование и сравнение метрик оценки качества изображений демонстрирует, что применимость объективной оценки качества изображения не может быть сведена к одной универсальной метрике, так как в большинстве случаев одна метрика не будет

полностью соответствовать визуальной экспертной оценке и отображать точный результат. Наиболее обоснованным является дифференцированный подход, при этом набор метрик оценки качества должен учитывать тип изображения, характер искажения и наличие эталона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р. К., Вудс Р. Е. Цифровая обработка изображений. 4-е изд. Москва: Техносфера, 2021. 1072 с.
2. Василенко А. С., Кузнецов Д. В. Методы и алгоритмы оценки качества цифровых изображений // Компьютерная оптика. 2020. Т. 44, № 3. С. 412–425. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-680.
3. Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing. 2004. Vol. 13, No. 4. P. 600–612. DOI: 10.1109/TIP.2003.819861.
4. Zhang R., Isola P., Efros A. A., Shechtman E., Wang O. The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2018. P. 586–595.
5. Wang Z., Simoncelli E. P., Bovik A. C. Multiscale Structural Similarity for Image Quality Assessment // Proceedings of the 37th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. 2003. Vol. 2. P. 1398–1402. DOI: 10.1109/ACSSC.2003.1292216.
6. Sheikh H. R., Bovik A. C. Image information and visual quality // IEEE Transactions on Image Processing. 2006. Vol. 15, No. 2. P. 430–444. DOI: 10.1109/TIP.2005.863036.
7. Ding K., Ma K., Wang S., Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: Unifying Structure and Texture Similarity // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2022. Vol. 44, No. 5. P. 2567–2581. DOI: 10.1109/TPAMI.2020.3045898.
8. Mittal A., Moorthy A. K., Bovik A. C. No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain // IEEE Transactions on Image Processing. 2012. Vol. 21, No. 12. P. 4695–4708. DOI: 10.1109/TIP.2012.2214050.
9. Mittal A., Soundararajan R., Bovik A. C. Making a “Completely Blind” Image Quality Analyzer // IEEE Signal Processing Letters. 2013. Vol. 20, No. 3. P. 209–212. DOI: 10.1109/LSP.2012.2227726.
10. Стеценко О. Н. Обработка видеокадров I-типа и статичных изображений на основе двухконтурной модели / О. Н. Стеценко, С. И.

Колесник // Моделирование энергоинформационных процессов : сборник материалов XIV национальной научно-практической конференции с международным участием (Воронеж, 23–25 декабря 2025 г.). – Воронеж, 2025. – С. 206–213.

УДК 004.62

Гончаренко Е.Д.
Научный руководитель: Косоногова М.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ДАННЫХ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ МЕЖДУ ФОРМАТАМИ JSON, XML, YAML И CSV

Одна информационная система редко обходится единственным форматом обмена. Веб-сервисы и мобильные приложения обмениваются данными в формате JSON, электронный документооборот, государственные и корпоративные системы – XML [1, 2]. Настройки инфраструктуры хранят в YAML, а выгрузки из баз данных и учётных программ обычно приходят в CSV. Для открытых данных государственных органов методические рекомендации называют машиночитаемыми форматами XML, CSV, JSON и RDFa [3]. Поэтому почти любая интеграция требует переводить данные из одного формата в другой, а среди главных её трудностей – структурная и семантическая неоднородность источников [4]. В недавней работе [5] XML и JSON рассматриваются как форматы, которые используются совместно и потому преобразуются друг в друга в обе стороны.

Перевод обычно выполняют с помощью готовой библиотеки и ждут, что данные пройдут через неё без изменений. Но модели данных у форматов разные. В XML есть атрибуты, смешанное содержимое и пространства имён, а типов значений и массивов нет. JSON различает числа, строки, логические значения и null [3]. В YAML тип значения без кавычек определяется по его виду, и версии 1.1 и 1.2 делают это по-разному. CSV, в свою очередь, – плоская таблица строк, в которой нельзя представить вложенные объекты и массивы [3]. О.И. Ефимова и соавторы отмечают, что атрибуты XML в JSON приходится имитировать служебными полями, смешанное содержимое теряет смысл разметки, а для преобразования нужны отдельные правила [5].

Количественных оценок того, как часто это происходит в распространённых библиотеках, в доступных источниках немного.

Цель статьи – экспериментально найти типовые случаи потери данных при преобразовании между JSON, XML, YAML и CSV, оценить, как часто они встречаются в распространённых библиотеках, и сформулировать требования к промежуточной модели данных, в которой таких потерь нет.

Для эксперимента подготовлено 24 тестовых случая, в каждом из них одна конструкция, неоднозначная при смене формата. Цепочка XML → JSON → XML проверялась на 5 случаях: атрибуты, смешанное содержимое (текст вперемешку с вложенными элементами), чередование одноимённых и разноимённых элементов, пространства имён, пробелы в начале и конце текста. Для обратной цепочки JSON → XML → JSON взято 6 случаев: массив из одного элемента, пустой массив, null рядом с пустой строкой, числа и логические значения, недопустимые в XML ключи (с пробелом или начинающиеся с цифры), массив на верхнем уровне. Ещё 6 случаев относятся к цепочке JSON → CSV → JSON: значение с ведущим нулём, числа и логические значения, null рядом с пустой строкой, вложенный объект, вложенный массив, текст с запятыми, кавычками и переводом строки. Для перевода YAML → JSON подобрано 6 значений без кавычек: NO, on в роли ключа, 12:30, 01234, 1.10 и дата 2026-10-12. Ещё один случай проверяет чтение из JSON целого числа 9007199254740993. Если данные переводились «туда и обратно», результат сравнивался с исходными данными: XML – в каноническом виде, без учёта различий в записи, JSON – по значению. Для YAML верным считалось то значение, которое записал автор файла: если в файле стоит country: NO, ожидается строка «NO», а не логическое false.

Проверено 11 библиотек на трёх языках программирования, у всех оставлены настройки по умолчанию. Для Python 3.13 это xmltodict 0.13, PyYAML 6.0, pandas 3.0 и стандартные модули csv и json, для JavaScript (среда Node.js 22) – xml-js 1.6, js-yaml 3.15, yaml 2.9 и встроенная функция JSON.parse, для Java 21 – SnakeYAML 2.0 и Jackson 2.16. Для каждой библиотеки коэффициент сохранности данных считался по формуле (1):

$$K = (n / N) \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где N – число тестовых случаев, применимых к библиотеке; n – число случаев, в которых данные сохранились полностью. Случай засчитывался как потеря, если преобразование завершилось ошибкой, выдало некорректный документ или изменило структуру, тип либо

значение данных. Потери, о которых библиотека не сообщила ошибкой, ниже называются «тихими». Примеры искажений приведены ниже (Табл. 1), значения коэффициента – далее (Табл. 2).

Таблица 1 – Типичные искажения данных (если библиотеки не указаны – во всех, проверенных для этого направления)

Класс	Исходные данные	Результат преобразования
Порядок элементов	<log><e>1</e><w>2</w><e>3</e></log>	{"e":["1","3"],"w":"2"} – порядок утрачен
Смешанное содержимое	Итого: 150 руб.	строки «Итого:» и «руб.» склеены, «150» вынесено отдельно
Массивы (через XML)	{"tags":["x"]}; {"tags":[]}	{"tags":"x"}; {"tags":null}
Пустые значения (через XML)	{"a":null,"b":""}	{"a":null,"b":null}
Типы в XML	{"qty":5,"paid":true}	{"qty":"5","paid":"true"}
Неявные типы YAML	country: NO	false (PyYAML, SnakeYAML)
	on: push	ключ true (PyYAML, SnakeYAML)
	start: 12:30	750 = 12·60 + 30 (PyYAML, js-yaml, SnakeYAML)
	zip: 01234	668 (PyYAML, js-yaml, SnakeYAML), 1234 (yaml)
Плоская структура CSV	{"items":[1,2]}	строка "[1, 2]"
	{"zip":"01234"}	число 1234 (pandas)

Таблица 2 – Коэффициент сохранности данных

Библиотека	Язык	Направление	N	K, %
xmltodict	Python	XML ↔ JSON	11	18
xml-js	JavaScript	XML ↔ JSON	11	27
pandas	Python	JSON ↔ CSV	6	33
csv	Python	JSON ↔ CSV	6	33
PyYAML	Python	YAML → JSON	6	0
SnakeYAML	Java	YAML → JSON	6	0

Библиотека	Язык	Направление	N	K, %
js-yaml	JavaScript	YAML → JSON	6	33
yaml	JavaScript	YAML → JSON	6	67

Всего выполнена 61 проверка: 58 по библиотекам из таблицы (Табл. 2) и три на чтение большого числа. Данные сохранились в 17 из них, то есть в 27,9 % случаев. Число 9007199254740993 модуль json и Jackson прочитали без изменений, а JSON.parse округлил его до 9007199254740992, потому что числа в JavaScript хранятся с двойной точностью.

Почти все потери проходят незаметно. Из 44 потерь (61 − 17) об ошибке библиотека сообщила только в трёх. Библиотека xmltodict отказалась строить XML из ключей с недопустимыми именами и из массива верхнего уровня. Дату PyYAML вернул особым объектом, и модуль json не смог записать её в JSON. Остальные 41 потеря (93,2 %) оказались тихими. Например, xml-js из ключа «first name» выдала документ <first name>…</first name>. Это некорректный XML, но узнает об этом только получатель данных.

Значение zip: 01234 библиотеки PyYAML, SnakeYAML и js-yaml прочитали как восьмеричное число 668 (по правилу YAML 1.1), а библиотека yaml, которая следует YAML 1.2, – как десятичное 1234. Исходную строку не сохранила ни одна. Значит, результат зависит и от версии спецификации YAML, которую реализует библиотека. По той же причине YAML 1.1 считает логическими значениями слова yes, no, on и off: ключ on в конфигурации превращается в true, а код страны NO – в false. Номер версии 1.10 все четыре библиотеки превратили в число 1.1: так его прочитает любая версия YAML.

Потери возникают по трём причинам. Первая – форматы устроены несимметрично. XML не отличает одиночный элемент от массива из одного элемента, а пустой массив от пустого элемента; объект JSON не хранит порядок разноимённых дочерних элементов. Вторая – неявная типизация: в XML и CSV любое значение записано строкой, и тип приходится угадывать. Третья – у конвертера нет сведений о схеме данных. Часть случаев исправляется параметрами библиотек: например, force_list в xmltodict и alwaysArray в xml-js заставляют считать указанные элементы массивами. Но для этого нужно заранее перечислить такие поля.

Сведений, нужных для корректного преобразования, в исходном файле нет. Их приходится передавать конвертеру отдельно, в виде схемы или правил, которые задаёт пользователь [5]. Правила проще

задавать для одного общего представления данных, чем для каждой пары форматов: для четырёх форматов нужны четыре модуля чтения и записи вместо двенадцати попарных конвертеров. Похожий приём используют и в других задачах обработки разнородной информации. Например, Р.У. Стативко и Г.Л. Окунева строят иерархическую модель, в которой количественные и качественные показатели достижений студента оцениваются в одном числовом интервале [6]. Для конвертера таким общим представлением становится промежуточная модель данных, и к ней сформулированы следующие требования:

1) узел модели хранит свой вид (элемент, атрибут, текст), порядок дочерних узлов сохраняется;

2) коллекцией узел становится по правилу или по схеме, а не по числу элементов;

3) тип значения хранится отдельно от исходного текста, поэтому «01234» и «1.10» не теряются;

4) null, пустая строка и отсутствующее поле различаются;

5) имена, недопустимые в целевом формате, кодируются по явному правилу, а если это невозможно, конвертер выдаёт ошибку вместо тихого искажения;

6) каждое решение в неоднозначном случае записывается как правило, которое видит пользователь.

По этим требованиям разрабатывается веб-сервис для настраиваемого преобразования данных между JSON, XML, YAML и CSV, в котором правила задаёт пользователь или предлагает система по паре примеров «исходные данные – нужный результат».

С настройками по умолчанию проверенные библиотеки сохранили данные лишь в 27,9 % проблемных случаев, а 93,2 % потерь прошли без сообщения об ошибке. Библиотеки при этом работают по своим спецификациям: потери вызваны различием моделей данных форматов, и устранить их можно только явным описанием структуры и типов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Канаев К.А., Фалеева Е.В., Пономарчук Ю.В. Сравнительный анализ форматов обмена данными, используемых в приложениях с клиент-серверной архитектурой // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-25. – С. 5569–5572. – URL: https://fundamental-research.ru (дата обращения: 08.10.2026).

2. Шульман В.Д., Шабанов В.В., Сухов П.А., Чунихин А.О. Сравнительный анализ форматов сериализации и передачи данных

JSON, XML, CBOR и GPB // StudNet. – 2023. – № 7. – С. 1686–1697. – URL: https://cyberleninka.ru

3. Методические рекомендации по публикации открытых данных государственными органами, органами местного самоуправления и подведомственными им организациями. Версия 4.0 : приложение № 3 к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 12 декабря 2024 г. № 49пр. – URL: https://minfin.gov.ru (дата обращения: 10.10.2026).

4. Садирмекова Ж.Б., Тусупов Д.А., Самбетбаева М.А., Алтынбекова Ж.Т. Методы интеграции данных в информационных системах // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 165–172. – URL: https://vestnik.kbtu.edu.kz (дата обращения: 10.10.2026).

5. Ефимова О.И., Оганесян Е.С., Корсунская П.А. Сравнительный анализ форматов XML и JSON в инфраструктуре современных научных коммуникаций: от документо-ориентированных стандартов к веб-ориентированным данным // Труды ИСП РАН. – 2026. – Т. 38, № 4, ч. 1. – С. 49–68. – DOI 10.15514/ISPRAS-2026-38(4)-3.

6. Стативко Р.У., Окунева Г.Л. Применение аппарата нечетких множеств для оценки образовательных достижений студента // Системный анализ, управление и обработка информации. – 2026. – № 1 (69). – С. 99–109. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=88962194 (дата обращения: 11.10.2026).

УДК 691.54

Гребеник А.А., Барасанов К.А., Абдухаликов Р., Коноваленко А.С.
Научный руководитель: Денисова Ю.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОДБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗИРОВКИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Совершенствование технологии бетона связано с повышением его технологических и эксплуатационных характеристик при рациональном использовании ресурсов (сырьевых, технологических, энергетических). Одним из основных способов регулирования свойств

бетонных смесей является применение модифицирующих (в том числе пластифицирующих) добавок, позволяющих изменять их подвижность, снижать водопотребность и обеспечить получение бетона с заданными физико-механическими показателями. Особое значение имеют суперпластифицирующие добавки различных химических типов, действие которых определяется составом, строением молекул и механизмом взаимодействия с цементными частицами [1].

Эффективность пластифицирующих добавок не ограничивается изменением реологических свойств бетонной смеси. Снижение водоцементного отношения, изменение условий гидратации цемента и формирование структуры цементного камня могут влиять на прочность, пористость, плотность, деформативность и долговечность затвердевшего бетона. При этом характер и степень такого влияния зависят не только от химического типа добавки, но и от её дозировки, состава вяжущего, наличия минеральных компонентов и условий твердения [2].

В связи с этим определение оптимальной дозировки пластификатора представляет собой многокритериальную задачу. Увеличение количества добавки может способствовать повышению подвижности смеси и снижению водопотребности цементного теста, однако не всегда обеспечивает повышение прочностных и других свойств бетона. Избыточное количество модифицирующих компонентов способно изменять процессы гидратации, структуро- и фазообразования, а также влиять на пористость и свойства затвердевшего цементного камня – матрицы бетона. Следовательно, максимальная дозировка добавки или наибольшее значение отдельного показателя не могут рассматриваться как универсальные критерии эффективности добавки [3].

Дополнительную сложность создаёт необходимость учитывать условия производства и твердения бетона. Результаты исследований показывают, что влияние пластификаторов на прочность может различаться при нормальном твердении и тепловлажностной обработке, а повышение прочности может сопровождаться изменением плотности материала [4–7]. Кроме того, добавки способны по-разному влиять на призменную прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона даже при близких значениях кубиковой прочности. Это подтверждает необходимость оценивать эффективность пластификаторов по совокупности технологических, физико-механических и эксплуатационных характеристик [4–7].

Таким образом, актуальной задачей является систематизация экспериментальных исследований по подбору дозировок пластифицирующих добавок с выделением основных факторов, определяющих их эффективность.

Цель настоящей работы – декомпозиция исследований по выбору оптимальной дозировки пластификаторов с учётом их влияния на свойства бетонной смеси, процессы структурообразования цементного камня и характеристики затвердевшего бетона. Такой подход позволяет рассматривать оптимальную дозировку не как фиксированное значение, а как параметр, определяемый составом бетонной смеси, типом добавки, технологией получения и условиями твердения и совокупностью требований к готовому материалу.

Экспериментальные исследования направлены на определение оптимальной дозировки пластифицирующих добавок и оценку их влияния на реологические свойства цементных систем, сроки схватывания и прочностные характеристики затвердевшего материала.

На первом этапе будет проведено определение рациональной концентрации пластифицирующей добавки, максимального расплыва цементной смеси с использованием методики НИИЖБ на приборе миниконус. Результат – установления зависимости подвижности смеси от концентрации модификатора.

На втором этапе планируется исследование нормальной густоты цементного теста контрольного состава и с добавками, а также определение сроков схватывания. Дополнительно на данном этапе будет определен стандартный расплыв и нормальная консистенция цементно-песчаной смеси при соотношении цемента и песка Ц:П=1:3.

На третьем этапе будут исследованы реологические свойства цементного теста посредством определения вязкости, градиента скорости сдвига и градиента среза. Полученные показатели используются для сравнительной оценки характера течения цементных систем и изменения их реологических характеристик при введении пластифицирующих добавок [6, 7].

Четвертый этап посвящен изучению кинетики набора прочности образцов из чистого цементного камня и цементно-песчаного раствора с соотношением цемента и песка Ц:П=1:3. Прочностные характеристики (предел прочности при сжатии) определяются на образцах-кубах на 1, 3, 7, 14 и 28-е сутки твердения, предел прочности при изгибе определяется на образцах балках 28 сутки. Сопоставление результатов позволит оценить влияние пластифицирующих добавок на

раннее структурообразование и конечные прочностные показатели цементных систем.

В результате реализации предложенной программы исследований предполагается установить закономерности влияния дозировки пластифицирующих добавок на технологические, реологические и прочностные характеристики цементного теста и цементно-песчаных систем. Комплексное сопоставление результатов испытаний позволит выявить взаимосвязи между показателями подвижности, нормальной густоты, сроками схватывания, реологическими параметрами и кинетикой набора прочности. Полученные данные планируется использовать для обоснования рациональной дозировки пластифицирующих добавок с учётом совокупности технологических и физико-механических характеристик цементных систем.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровских, И. В. Роль суперпластификатора в формировании прочности мелкозернистого бетона / И. В. Боровских, Н. М. Морозов, А. Ф. Галеев // Символ науки: международный научный журнал. – 2016. – № 8-2(20). – С. 76-78. – EDN WIOHMV.

2. Макушина, Ю. В. Влияние состава и структуры различных суперпластификаторов на плотность цементных систем / Ю. В. Макушина // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2019. – № 1-1. – С. 93-96. – EDN BNVJDH.

3. Эффективность тепловой обработки бетона с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе / Л. И. Касторных, И. В. Трищенко, А. В. Каклюгин, Д. Р. Шершень // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2(53). – С. 60. – EDN QLBTHG.

4. Курятников, Ю. Ю. Исследование эффективности суперпластификаторов на основе полиметиленнафталинсульфокислот и поликарбоксилатных эфиров / Ю. Ю. Курятников // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2021. – № 4(12). – С. 95-100. – DOI 10.46573/2658-7459-2021-4-95-100. – EDN JIZEXS.

5. Влияние суперпластификаторов на микроструктуру и упругие свойства бетона / Л. Я. Крамар, И. М. Иванов, К. В. Шулдяков, М. В. Мордовцева // Строительные материалы. – 2022. – № 10. – С. 17-24. – DOI 10.31659/0585-430X-2022-807-10-17-24. – EDN NHOJNQ.

6. Рахимбаев, Ш. М. Об эффективности действия суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах в зависимости от вида мелкого заполнителя / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Толыпина, Е. Н. Карпачева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 3. – С. 60-63. – EDN NCZRSJ.

7. Изучение влияния различных по природе суперпластификаторов на реологию водных суспензий клинкерных минералов / М. М. Косухин, А. М. Косухин, М. А. Богачева, Н. А. Шаповалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 129-134. – DOI 10.12737/article_59cd0c63a766e2.69621387. – EDN ZOWFDF.

УДК 693.546

Гречко Ю.А., Левшин Д.Э.
Научный руководитель: Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ ПЛОЩАДКУ

Бетонирование является ответственным этапом возведения монолитных железобетонных конструкций. Качество бетона, его прочность и долговечность во многом зависят от того, насколько правильно организованы транспортировка, подача и укладка бетонной смеси. Современное строительство характеризуется ростом объемов монолитного домостроения, усложнением конструктивных решений и повышением требований к темпам работ. В этих условиях традиционные способы доставки и подачи смеси часто оказываются недостаточно эффективными.

По виду основного перемещающего воздействия методы подачи бетонной смеси можно разделить на гравитационные, опорные, напорные и инерционные (рис.).



Рис. Классификация методов подачи бетонной смеси
к месту укладки по виду основного перемещающего воздействия

Гравитационные основаны на свободном сбрасывании, скольжении по наклонной поверхности или течении по горизонтали. Опорные предполагают порционную или непрерывную подачу с использованием бадей, конвейеров, бетоноукладчиков. Напорные реализуются через трубопроводный транспорт и сдвигание смеси по поверхности. Инерционные методы включают струйный, центробежный и ударно-инерционный способы. Такая классификация позволяет системно подходить к выбору оборудования для конкретных условий строительства.

Состояние смеси в пути определяется совокупностью процессов: гидратацией цемента, изменением реологических характеристик, температурным воздействием и механическим перемешиванием. Даже при неизменном количестве воды подвижность может снижаться, а чрезмерно интенсивное либо неправильно организованное транспортирование повышает риск нарушения однородности. Для контроля пригодности к укладке значимы не только время от загрузки, но и фактическая температура, удобоукладываемость, стабильность состава и режим перемешивания [1–3].

Основным средством доставки бетонных смесей на объекты монолитного строительства остается автобетоносмеситель. Вращающийся барабан обеспечивает перемешивание при движении и перед выгрузкой, а регулируемая скорость вращения позволяет

согласовать режим с характеристиками смеси и рекомендациями производителя оборудования. Автобетоносмеситель целесообразен при перевозках на значительное расстояние и при переменном ритме приемки; вместе с тем его эффективность зависит от пропускной способности дорог, организации подъезда и наличия свободного места для разгрузки.

Инновационное направление – переход от контроля только при отправке и приемке к мониторингу каждой партии в течение всего рейса. На автомобиле устанавливают датчики температуры, скорости и оборотов барабана, давления в гидросистеме, а также телематику (местоположение, время операций). Данные связывают с электронным паспортом партии (состав, объем, время выпуска, нормируемые показатели), что позволяет различать задержку в пути и технологическую причину ухудшения удобоукладываемости.

Промышленный комплекс Verifi Pulse применяет датчики гидравлического давления, GPS и передачу данных; отдельно контролируются температура и вращение барабана [4]. Платформа отображает расчетную консистенцию, температуру, местоположение, число оборотов и ручное добавление воды. Осадка конуса оценивается косвенно по калибровочным зависимостям и требует периодической сверки со стандартными испытаниями [5].

Расширенная конфигурация Verifi Manage Water + Admixture управляет дозированием воды и добавки для поддержания консистенции. Однако в российской практике это не означает автоматической допустимости: пп. 9.4–9.5 ГОСТ 7473–2010 запрещают вводить дополнительные компоненты при транспортировании. Исключение – восстановление удобоукладываемости пластифицирующей добавкой в автобетоносмесителе на площадке под контролем службы качества потребителя, по согласованному регламенту и с документальным оформлением [6].

Непрерывный контроль должен предупреждать о приближении к предельному времени сохраняемости, росте температуры, затяжном простое и отклонении расчетной консистенции. Окончательное решение о приемке принимают по документу о качестве и результатам необходимых испытаний.

Сравнение технологий доставки и подачи бетонной смеси на строительную площадку представлено в таблице.

Таблица – Сравнение технологий доставки и подачи бетонной смеси

Технология	Потенциальный эффект	Ограничение применения
Автобетоносмеситель с телематикой	Контроль времени рейса и маршрута; согласование очередности разгрузки	Требуются достоверная связь, учет пробок и дисциплина внесения данных
Датчики свойств смеси в пути	Раннее обнаружение отклонений температуры и расчетной консистенции	Необходима калибровка по составам и проверка по ГОСТ 10181–2014
Автоматическое дозирование Verifi Manage	Техническая возможность регулирования консистенции в пути	В РФ применимость ограничена пп. 9.4–9.5 ГОСТ 7473–2010
Автобетононасос и распределительная стрела	Непрерывная подача на высоту или удаленный участок	Зависимость от реологии смеси, схемы бетоновода и обслуживания
Конвейерная либо бадьевая подача	Рациональна при отдельных ограничениях площадки	Проверка производительности, перегрузок и сохранения однородности

Проведенный анализ показывает, что инновации в транспортировке бетонной смеси направлены прежде всего на согласование трех взаимосвязанных задач: сохранение технологических свойств материала, ритмичность поставок и эффективную подачу к месту укладки. Выбор между автобетононасосом, конвейерной, бадьевой и иной схемой подачи следует делать с учетом реологических параметров смеси, геометрии объекта, доступности оборудования и темпа бетонирования.

Наиболее практически реализуемым направлением цифровизации является оснащение автобетоносмесителей средствами определения местоположения, температуры, режима вращения барабана и косвенной оценки консистенции. Объединение этих сведений с диспетчеризацией и протоколами контроля позволяет раньше обнаруживать отклонения, уменьшать неорганизованные простои и повышать прослеживаемость партий. Промышленные решения типа Verifi демонстрируют технические возможности такого подхода, однако их функции дозирования компонентов должны рассматриваться отдельно с учетом требований ГОСТ 7473–2010.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Слепухин А.С., Плехова С.И. Высокотехнологичные бетоны с использованием суперпластифицирующих добавок на основе поликарбоксилата // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 63–66.

2. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Повышение качества мелкоштучных изделий за счет равномерного заполнения формы жесткой смесью // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2013. № 3. С. 56–60.

3. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Малюкова М.В. Высокоплотные составы вибропрессованных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 48–50.

4. Verifi. Our solutions for in-transit slump management [Электронный ресурс]. URL: https://www.verificoncrete.com/our-solutions (дата обращения: 13.10.2026).

5. ГОСТ 10181–2014. Смеси бетонные. Методы испытаний: межгосударственный стандарт. Введ. 2015-07-01. URL: https://protect.gost.ru (дата обращения: 13.10.2026).

6. ГОСТ 7473–2010 (EN 206-1:2000). Смеси бетонные. Технические условия: межгосударственный стандарт. Введ. 2012-01-01. URL: https://protect.gost.ru (дата обращения: 13.10.2026).

УДК 533, 534

Губайдуллин Д.А., Шайдуллин Л.Р., Фадеев С.А., Тукмаков Д.А.
ИММ Казанский научный центр Российской академии наук, г. Казань, Россия

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ АЭРОЗОЛЯ В ОТКРЫТОЙ ТРУБЕ В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ С УЧЕТОМ ВЯЗКОСТИ НЕСУЩЕЙ СРЕДОЙ

Данная работа посвящена исследованию колебаний газа с дисперсными частицами в трубе. Проблемам динамики газодисперсных сред посвящен ряд монографий и статей в периодической печати. В монографии [1] разработаны основы теории динамики многофазных и многокомпонентных сред, основанные на уравнениях механики сплошных сред, представлены уравнения континуальной методики моделирования течений многофазных сред. В монографии [2] на основе континуальной методики моделирования многофазных сред разработаны математические модели одномерной нестационарной

динамики газовзвесей без учета вязкости несущей среды. В работе [3] описаны различные проблемы разработки математических моделей течений газодисперсных сред в лагранжевых и эйлеровых координатах с учетом различных сил межфазного взаимодействия. В монографии [4] рассмотрены вопросы численного моделирования гидродинамики и тепломассопереноса в двухфазных газокапельных потоках в трубах. В работе [5] представлены математические модели различных волновых процессов взвесей твердых металлических частиц в газе, для математических моделей разработаны численные решения.

Целью представленных в обзоре работ является исследования динамических процессов в газодисперсных средах, которые осуществляются с помощью как математического моделирования, так и с помощью физических экспериментов. Воздействие акустических полей на аэрозоли изучаются в связи с различными технологиями очистки газодисперсных сред от дисперсных включений.

В данной работе проводится моделирование течений газодисперсных сред в рамках континуальной эйлеровой математической модели для исследования колебаний аэрозоля в открытом акустическом резонаторе, проводится сопоставление численных расчетов с физическим экспериментом. Были рассмотрены процессы колебаний аэрозоля в акустических полях для монодисперсных газовзвесей.

Математическая модель реализовывала континуальную методику моделирования динамики неоднородных сред [1], позволяющую учесть межфазный обмен импульсом и энергией с дисперсной фазой. В качестве несущей среды рассматривается сжимаемый газ, движение которого описывается системой уравнений Навье-Стокса [6-10]. В осесимметричной системе координат в двумерном случае система уравнений выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t}+\frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho_1 v_1)}{\partial r}=-\rho_1 v_1 / r\,, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho_1 u_1)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_1 u_1^{\,2}+p-\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho_1 u_1 v_1-\tau_{xr}\right)=\left(\rho_1 u_1 v_1+\tau_{xr}\right)/ r+\alpha\frac{\partial p}{\partial x}-F_x\,, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_1 v_1)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_1 u_1 v_1-\tau_{xr}\right)+\frac{\partial}{\partial r}\left(\rho_1 v_1^{\,2}+p-\tau_{rr}\right)=\left(-\rho_1 v_1^{\,2}+\tau_{rr}\right)/ y+\alpha_2\frac{\partial p}{\partial r}-F_r\,, \qquad (3)$$

$$\frac{\partial(e_1)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\left[e_1+p-\tau_{xx}\right]u_1-\tau_{xr}v_1+\lambda\frac{\partial T_1}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial r}\left(\left[e_1+p-\tau_{rr}\right]v_1-\tau_{xr}u_1+\lambda\frac{\partial T_1}{\partial r}\right)=$$

$$= \left(-v\left(e_1 + (1-\alpha_2)\, p - \tau_{rr}\right) + \tau_{xr} u_1 - \lambda \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) / \, y + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial x}(u_1\, p) + \alpha \frac{\partial}{\partial r}(v_1 p) -$$

$$-Q - |F_x|(u_1 - u_2) - |F_r|(v_1 - v_2), \qquad (4)$$

$$p = (\gamma - 1)\left(e_1 - 0.5\rho\left(u_1^2 + v_1^2\right)\right), \quad e_1 = \rho_1 I + 0.5\rho_1\left(u_1^2 + v_1^2\right),$$

$$\tau_{xx} = \mu\left(2\frac{\partial u_1}{\partial x} - \frac{2}{3}D\right), \; \tau_{rr} = \mu\left(2\frac{\partial v_1}{\partial r} - \frac{2}{3}D\right),$$

$$\tau_{xy} = \mu\left(\frac{\partial u_1}{\partial r} + \frac{\partial v_1}{\partial x}\right), \; D = \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial v_1}{\partial r} + \frac{v_1}{r}.$$

Здесь ρ_1, u_1, v_1, u_1, v_1, e, μ, λ– плотность, составляющие скорости несущей и дисперсной среды, полная энергия, коэффициенты теплопроводности и вязкости несущей среды. Величины F_x , F_r , Q задаются законами межфазного трения и теплообмена. $I=RT/(\gamma - 1)$ – внутренняя энергия газа.

Движение дисперсной фазы описывается уравнением сохранения средней плотности твердой фракции, уравнениями сохранения составляющих импульса и уравнением сохранения внутренней энергии:

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_2 u_2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_2 v_2)}{\partial r} = -\rho_2 v_2 / r, \qquad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho_2 u_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_2 u_2^2\right) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho_2 u_2 v_2) = -\rho_2 u_2 v_2 / r + F_x + \alpha_2 \frac{\partial p}{\partial x}, \qquad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho_2 v_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_2 u_2 v_2) + \frac{\partial}{\partial r}\left(\rho_2 v_2^2\right) = -\rho_2 v_2^2 / r + F_r + \alpha_2 \frac{\partial p}{\partial r}, \qquad (7)$$

$$\frac{\partial(e_2)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(e_2 u_2) + \frac{\partial}{\partial r}(e_2 v_2) = -e_2 v_2 / r + Q, \qquad (8)$$

$$\rho_2 = \alpha_2 \rho_{20}, \; e_2 = \rho_2 C_p T_2,$$

где T_2,e_2,ρ_2,α_2– температура дисперсной фазы, внутренняя энергия дисперсной фазы, средняя плотность и объемное содержание; C_p , ρ_{20}– теплоемкость и плотность вещества твердой фазы. Составляющие силы трения F_x и F_y задаются следующим образом [3]:

$$F_x = \frac{3}{4}\frac{\alpha_2}{d} C_d \rho_1 \sqrt{(u_1 - u_2)^2 + (v_1 - v_2)^2}\,(u_1 - u_2) + \alpha_2 \rho_1 \left(\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} + v_1 \frac{\partial u_1}{\partial r}\right) +$$

$$+0.5\alpha_2\rho_1\left(\frac{\partial u_2}{\partial t}+u_2\frac{\partial u_2}{\partial x}+v_2\frac{\partial u_2}{\partial r}-\frac{\partial u_2}{\partial t}-u_2\frac{\partial u_2}{\partial x}-v_2\frac{\partial u_2}{\partial r}\right),$$

$$F_y=\frac{3}{4}\frac{\alpha_2}{d}C_d\rho_1\sqrt{\left(u_1-u_2\right)^2+\left(v_1-v_2\right)^2}\left(v_1-v_2\right)+\alpha_2\rho_1\left(\frac{\partial v_1}{\partial t}+u_1\frac{\partial v_1}{\partial x}+v_1\frac{\partial v_1}{\partial r}\right)+$$

$$+0.5\alpha_2\rho_1\left(\frac{\partial v_1}{\partial t}+u_1\frac{\partial v_1}{\partial x}+v_1\frac{\partial v_1}{\partial r}-\frac{\partial v_2}{\partial t}-u_2\frac{\partial v_2}{\partial x}-v_2\frac{\partial v_2}{\partial r}\right),$$

$$C_d=\frac{24}{Re_{21}}+\frac{4}{Re_{21}^{0.5}}+0.4,\ M_{12}=\left|\bar{V}_1-\bar{V}_2\right|/c\ ,$$

$$V_1=\sqrt{u_1^2+v_1^2},\ V_2=\sqrt{u_2^2+v_2^2}\ ,$$

$$Re_{21}=\rho_1\left|\bar{V}_1-\bar{V}_2\right|d/\mu\ ,\ \mathrm{Pr}=\gamma C_p\mu/\lambda,$$

$$Nu_2=2\exp\left(-M_{21}\right)+0.459\,\mathrm{Re}_{21}^{0.55}\,\mathrm{Pr}^{0.33},$$

Полученные системы дифференциальных уравнений в частных производных– (1)-(8) решалась явным конечно-разностным методом Мак-Кормака [11] с расщеплением по пространственным направлениям [12] и схемой нелинейной коррекции [13,14].

Схема расчетной области представлена на рис.1. На оси симметрии задавались условия симметрии для составляющих скорости газа. На боковой поверхности для всех составляющих скорости задавались однородные граничные условия Дирихле. На поверхности поршня осевая составляющая скорости изменялась по гармоническому закону, поперечная составляющая скорости приравнивалась нулю. Расчеты сопоставлялись с физическим экспериментом [15]. Экспериментальные и численные данные аппроксимированы сплайном третьей степени [16].

Работа выполнена за счет предоставленного в 2026 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан гранта «Нелинейные колебания газа и осаждение аэрозоля в трубе со ступенчатой насадкой».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред. / Р.И. Нигматулин //Москва: Наука, 1978. — 336с.

2. Кутушев, А.Г. Математическое моделирование волновых

процессов в аэродисперсных и порошкообразных средах/А.Г. Кутушев // Санкт-Петербург.: Недра, 2003. — 284 с.

3. Волков, К. Н. Течения газа с частицами/Волков К.Н., Емельянов В.Н. //Москва.: Физматлит, 2008. — 600 с.

4. Терехов, В.И. Тепломассоперенос и гидродинамика в газокапельных потоках/ В.И. Терехов, М.А. Пахомов // Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. — 284 с.

5.Федоров, А.В., Фомин В.М., Хмель Т.А. Волновые процессы в газовзвесях частиц металлов/ А.В. Федоров, В.М. Фомин, Т.А. Хмель //Новосибирск: Параллель; 2015. — 301 с.

6. Тукмаков, Д.А. Численная модель турбулентного потока Полидисперсной газовзвеси/Д.А. Тукмаков //Челябинский физико-математический журнал. — 2026. — Т. 11. — № 1. — С. 143–158.

7. Губайдуллин, Д. А. Численное моделирование колебаний аэрозоля в узком закрытом резонаторе / Д.А. Губайдуллин, Д.А. Тукмаков // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. — 2026. —Т. 26. — № 2. — С. 198–210.

8. Тукмаков, Д. А. Сравнение моно- и полидисперсных математических моделей расчета пневмотранспорта газовзвеси в канале / Д.А. Тукмаков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2026. — № 1. — С. 34–48.

9. Тукмаков, А.Л. Численное моделирование колебаний коагулирующей двухфракционной газовзвеси в акустическом резонаторе. / А.Л. Тукмаков, Д.А. Тукмаков, А.А. Ахунов // Математическое моделирование и численные методы. —2026. — № 2. — С. 66–85.

10. Тукмаков, Д. А. Сравнение методик математического моделирования динамики газовзвесей с неравновесной и «замороженной» скоростями дисперсной фазы /Д.А. Тукмаков// Таврический вестник информатики и математики. — 2025. — № 4. — С. 76 – 93.

11.Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей.Т. 2. / К. Флетчер // Москва: Мир,1991. –551 с.

12.Ковеня, В. М. Применение метода расщепления в задачах аэродинамики. / В.М. Ковеня, Г.А. Тарнавский, С.Г. Черный // Новосибирск: Наука, 1990. –247 с.

13. Музафаров, И. Ф. Применение компактных разностных схем к исследованию нестационарных течений сжимаемого газа/ И.Ф.

Музафаров, С.В. Утюжников //Математическое моделирование. —1993. —Т. 5. — №3. — С. 74–83.

14.Тукмаков, А. Л. Численное моделирование процесса волновой сепарации твердых частиц при резонансных колебаниях газа в закрытой трубе / А.Л. Тукмаков//Акустический журнал. — 2009. —Т. 55. — №3. —С. 342–349.

15. Губайдуллин, Д. А. Осаждение полидисперсного аэрозоля в узкой закрытой трубе при резонансном режиме колебаний / Д.А. Губайдуллин, Р.Г. Зарипов, Л.А. Ткаченко, Л.Р. Шайдуллин, С.А. Фадеев //Теплофизика высоких температур. — 2023. —Т. 61. —№6. — С. 953–956.

16. Вержбийкий, В. М. Численные методы. / В.М. Вержбицкий //Москва: Высшая школа, 2001. —382 с.

УДК 72.012

Гунько Д.М.
Научный руководитель: Тарасенко В.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОЕ ПАНОРАМНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДЕЛОВЫХ ЦЕНТРОВ

Повышение энергоэффективности зданий и сооружений является одним из ключевых элементов в строительстве. Постоянно совершенствуются и создаются новые требования, появляются новые стандарты и т.д. Такой подход весьма логичен, ведь каждый год появляются новые технологии, методы монтажа и усовершенствованные облицовочные материалы. За последние 20 лет во всем мире стали активно использоваться различные светопрозрачные навесные фасадные системы. Такие сооружения имеют достаточно привлекательный дизайн и в последние годы интерес к проблемам теплообмена светопрозрачных конструкций так же возрос, что привело к разработке новых конструкций с повышенными теплозащитными характеристиками.

В настоящее время существуют разные способы повышения энергоэффективности светопрозрачных фасадных систем.

Основой конструкции, которая принимает нагрузку и удерживает стеклопакет является профиль. Самый популярный вариант по

соотношению цены и качеству теплоизоляционных свойств это ПВХ. Окна из такой конструкции обладают энергоэффективностью благодаря целому комплексу конструктивных технологий и решений.

Во-первых, этому способствует многокамерная профильная система (рис. 1), где внутреннее пространство оконного профиля состоит из нескольких воздушных камер, разделённых пластиковыми перегородками. Чем больше камер, тем лучше окно удерживает тепло. Для повышения энергоэффективности могут использоваться профили с 5 – 7 воздушными камерами.

Начато применение энергосберегающих стеклопакетов со специальными стеклами с низкоэмиссионным покрытием (Low-E), которое отражает инфракрасное (тепловое) излучение обратно в помещение и не позволяет ему выходить наружу. Такое покрытие пропускает видимый свет, но задерживает тепловые волны.

Также камеры стеклопакета оконных профилей ПВХ могут заполняться аргоном, криптоном или другими инертными газами. Их теплопроводность ниже, чем у воздуха, что повышает теплоизоляционные свойства [2].

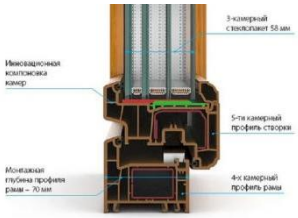


Рис. 1. Многокамерная профильная система створки для трехкамерного стеклопакета

Могут применяться герметичные дистанционные рамки. Используются пластиковые или композитные материалы с низкой теплопроводностью, что уменьшает эффект «холодного моста» по периметру и снижает риск образования конденсата. Так же должны использоваться качественные уплотнители. Эластичные вставки по периметру рамы и створки предотвращают проникновение холодного воздуха снаружи и удерживают тепло изнутри помещения. Дополнительные контуры уплотнения (например, трёхконтурное) повышают герметичность и теплоизоляционные свойства остекления [3].

Еще одним вариантом конструктивного решения является алюминиевый профиль. Алюминиевый профиль так же имеет многокамерную систему и заполнение инертным газом в стеклопакетах.

Особое внимание следует уделить терморазрывам в профиле. Терморазрыв предотвращает прямой контакт между холодными и тёплыми участками, снижая теплообмен и теплопотери. Такие профили значительно более энергоэффективны, чем традиционные конструкции (рис. 2).



Рис. 2. Многокамерная конструкция профиля

Алюминиевые профили устойчивы к коррозии, механическим повреждениям, перепадам температур и другим климатическим условиям. Это увеличивает срок службы конструкций и их эксплуатационные характеристики, что косвенно способствует улучшению общей энергоэффективности здания.

Применяются так же и деревянные профили, которые считаются премиальными. Некоторые его преимущества:

1. дерево — природный теплоизолятор. Его структура состоит из множества микроскопических пор, заполненных воздухом, который препятствует передаче холода. Коэффициент теплопроводности сухой древесины составляет примерно 0,09 – 0,18 Вт/(м·К). Это ниже, чем у многих других материалов, используемых для оконных профилей (например, у ПВХ — около 0,16 – 0,19 Вт/(м·К)).

2. минимизация «мостиков холода». В отличие от алюминиевых рам, которые обладают высокой теплопроводностью, деревянные конструкции не образуют «мостиков холода» — зон, через которые тепло уходит из помещения. Это повышает эффективность теплоизоляции [4].

Таким образом, энергоэффективное панорамное остекление общественных зданий — многофакторный процесс, требующий комплексного подхода: от выбора материалов и проектирования до монтажа и последующего обслуживания. Современные технологии и

стандарты позволяют балансировать между эстетикой, комфортом и экономией энергоресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Магай, А.А. Инновационные технологии в остеклении фасадов высотных зданий / А.А Магай, П.П. Семикин // Энергосовет. — 2012. №4(23). С. 48 — 51.

2. Плотников, А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // Вестник МГСУ. — 2015. №11. С. 7 — 15.

3. Дербина, С.Н. Эволюция конструктивных решений светопрозрачных фасадов / С.Н. Дербина, И.В. Борискина, А.А. Плотников // Вестник МГСУ. — 2011. №2. С. 1 — 11.

4. Черныш, Н. Д. Современные условия создания комфортного архитектурного средового пространства / Н.Д. Черныш, В.Н. Тарасенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2017. №. 1. С. 101 — 104.

УДК 004.946

Давыдов Д.А.
Научный руководитель: Косоногова М. А., канд. техн. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕЙМИФИКАЦИИ

У аграрного сектора России накопился целый клубок системных проблем, и решать их нужно быстро. Министерство сельского хозяйства РФ называет такую цифру: больше 16 млн га пашни сегодня простаивает. Это оборачивается потерями около 5,6 трлн рублей – примерно 5,7 % ВВП при урожайности пшеницы 35 ц/га [1]. Вдобавок отрасль испытывает кадровый голод: не хватает 200–300 тыс. специалистов, а спрос на рабочие профессии подрастает на 5–7 % каждый год [2].

Главная причина такого положения – разрыв между тем, чему учат в вузе, и тем, с чем выпускник сталкивается в поле. Классические методики не позволяют воспроизвести сложные агротехнические

процессы, учесть десятки физико-химических параметров среды и отработать управленческие решения в динамике.

Цель работы – предложить концепцию интерактивного образовательного приложения «Битва за урожай!». Продукт должен сократить разрыв между теорией и практикой за счёт игровых механик и имитационного моделирования агротехнических условий.

«Битва за урожай!» – многопользовательская образовательная платформа. В её основе лежат три составляющие: экономическая стратегия, симулятор растениеводства и справочная система. Архитектура продукта включает пять основных блоков.

1. Блок моделирования агротехнических условий. Он воспроизводит полный цикл выращивания культур. Учитывается свыше 30 физико-химических показателей: влажность почвы, температура воздуха, освещённость, кислотность, содержание питательных веществ и другие. Обучающийся видит, как меняется состояние растений в реальном времени, и корректирует свои действия под текущие условия [3].

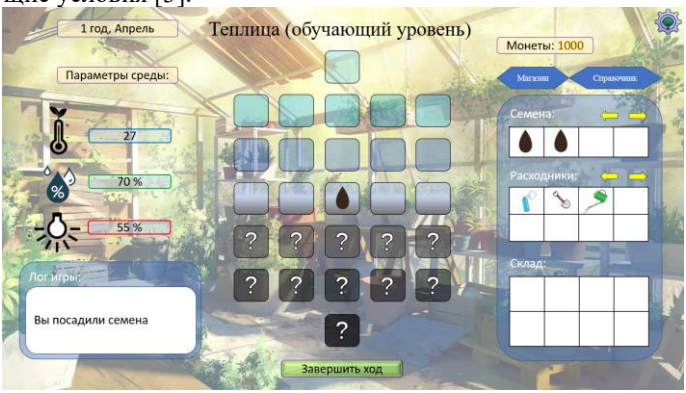


Рис. 1 Интерфейс обучающего уровня «Теплица»

2. Блок «Теплица» (обучающий уровень, рис. 1). Это первый шаг для новичка. Здесь последовательно осваиваются базовые операции: выбор семян, подготовка почвы, посев, полив, внесение удобрений, борьба с вредителями, сбор урожая.

3. Ботанический атлас и энциклопедия. Встроенный справочник охватывает более 50 сельскохозяйственных культур. По каждой культуре приводится описание агротехнических требований, оптимальных условий выращивания, типичных болезней и вредителей. Атлас связан с игровым процессом: справку по нужной культуре можно

получить мгновенно.

4. Блок «Аграрные зоны». Здесь моделируется выращивание культур в разных климатических и почвенных условиях – тех, что соответствуют реальным агроклиматическим зонам России. Обучающийся начинает понимать региональную специфику сельского хозяйства.

5. Система геймификации. В неё входят достижения и рейтинг обучающихся, внутриигровая экономика с валютой (монеты), сезонные события, характерные для предметной области. Соревновательные механики и игровые элементы закрывают педагогические задачи и должны поддерживать вовлечённость и мотивацию к обучению [4].

При позиционировании продукта на рынке упор делается на несколько сегментов аудитории: во-первых, студентов аграрных вузов и колледжей, во-вторых, начинающих специалистов сектора АПК, фермеров и а также тех, кто интересуется сельским хозяйством. Предусмотрено три формата применения разрабатываемого агросимулятора в учебном процессе:

- как дополнительный инструмент практического обучения по дисциплинам сельскохозяйственного уклона, например, «Растениеводство», «Агрохимия», «Земледелие»;
- как платформа для проведения лабораторных и практических занятий в дистанционном или смешанном режиме;
- как средство профориентации школьников и абитуриентов.

При выстраивании педагогической стратегии использования цифрового инструмента стоит отметить опыт организации обучения в формате peer-to-peer, который применяется при подготовке ИТ-кадров в вузе. Согласно методике, описанной в работе [5], соревновательные и collaborative-механики повышают вовлечённость студентов и качество освоения практических навыков. Этот подход применим и в аграрном образовании.

В ходе исследования проведён конкурентный анализ образовательных продуктов на российском рынке (табл. 1). Среди ключевых решений на рынке агросимуляторов найдены: агросистема «КлеверFarmer», платформа «Я в Агро» от Россельхозбанка, объединяющая образовательные инструменты и стратегические инициативы, решение Skillagro с кейсовым подходом и платформа «АгроАкадемия».

Таблица 1 – Сравнительный анализ образовательных агросимуляторов

Критерий	Клевер Farmer	Я в Агро	Skillagro	Агро Академия
Геймификация процесса обучения	+	+	-	-
Моделирование полного цикла роста растений	-	-	-	-
Ботанический атлас	-	-	+	-
Лекции и учебные материалы	-	-	+	+
>30 физико-химических показателей	-	-	-	-

Как видно из таблицы, предлагаемый продукт отличается от конкурентов по трём параметрам: он моделирует полный цикл роста растений, учитывает более 30 физико-химических параметров и интегрирует ботанический атлас непосредственно в игровой процесс.

Монетизация продукта – гибридная. Совмещаются модели Freemium и Subscription. Базовая версия с ограниченным функционалом распространяется бесплатно на Google Play, App Store и Steam (Free-to-Play). В премиум-контент входят сезонные события, новые культуры, персональные рекомендации и расширенная аналитика. Расчёты показывают, что рыночный потенциал у проекта значительный (табл. 2).

Оценка выполнена для рынка Российской Федерации. Источники данных включают открытые материалы Росстата, Минсельхоза РФ и аналитических отчётов по мобильному и ПК-гейммингу. Под «охватом» понимается доля пользователей, которую в первый год после запуска реально привлечь и которая с определённой вероятностью оформит платную подписку. Для игровых сегментов (мобильные устройства и ПК) охват указан не от всех игроков страны, а от целевой аудитории, интересующейся симуляторами и фермерскими играми. Значение 100 % в таблице отражает полноту внутрисегментного проникновения при оптимистичном сценарии.

Таблица 2 – Оценка объема рынка (РФ, 1-й год развития проекта)

Сегмент аудитории	**База расчета, чел.**	**Охват**	**Количество пользователей**	**Среднемесячный платеж, руб.**	**Годовой доход, млн руб.**
Обучающиеся аграрных вузов и колледжей	280000	10%	28000	350	117,6
Аграрные компании	100000	10%	10000	500	60
Индивидуальные предприниматели	50000	10%	5000	500	30
Игроки мобильных устройств	10000	100%	10000	500	60
Игроки ПК (Steam)	28000	100%	28000	350	117,6

Общий потенциальный объём рынка – 2,4 млрд рублей в год при 100 % охвате целевой аудитории. Реалистичный прогноз на первый год внедрения – выручка около 200 млн рублей при охвате 10 % аудитории в каждом сегменте.

Разработанное приложение позволяет решить следующие практические задачи:

1. Повышает качество управленческих и технологических решений в растениеводстве. Многократное моделирование разных сценариев проходит без риска для реального урожая.

2. Сокращает срок адаптации молодых специалистов к производственным условиям. Практические навыки отрабатываются в виртуальной среде.

3. Популяризирует сельскохозяйственные профессии среди молодёжи и помогает привлекать кадры в отрасль.

Таким образом, анализ конкурентной среды подтверждает уникальность предлагаемого решения, а оценка объёма рынка и потенциальной выручки говорит о его коммерческой перспективности. Дальнейшая работа предполагает разработку полноценного прототипа и его апробацию в образовательных учреждениях аграрного профиля. Игровые механики и моделирование агротехнических процессов дают

возможность создать эффективную образовательную среду, в которой у будущих специалистов формируются практические навыки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Доклад о состоянии в 2024 году. -М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2025. – 320 с.

2. Агропромышленный комплекс России: кадровый потенциал и перспективы развития / под ред. В.И. Трухачева. – Ставрополь: АГРУС, 2024. – С. 45-67.

3. Казакова Н.Н., Чернышов А.В. Цифровые технологии в агропромышленном комплексе: учебное пособие. – Воронеж: ВГАУ, 2023. – 180 с.

4. Панюкова Т.А. Геймификация в образовании: теория и практика // Современные образовательные технологии. – 2024. – № 2. – С. 78-85.

5. Косоногова М.А. Организация обучения в формате Peer-to-Peer при подготовке ИТ-кадров в вузе // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: материалы Семнадцатой открытой Всероссийской конференции / отв. ред. А.В. Альминдеров. — Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2019. — С. 289–292.

УДК 693.5

Донченко М.С.
Научный руководитель: Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ: СКОЛЬЗЯЩАЯ, ПОДЪЁМНО-ПЕРЕСТАВНАЯ И КРУПНОЩИТОВАЯ ОПАЛУБКА

Монолитное железобетонное домостроение в последние десятилетия развивается быстрее других способов возведения зданий. Оно позволяет получать здания свободной планировки без стыков сборных элементов, с высокой пространственной жёсткостью и сейсмостойкостью. Вместе с тем рост монолитного строительства сдерживается рядом факторов: высокой стоимостью опалубочных

систем, требованиями к контролю качества, нехваткой квалифицированных рабочих и необходимостью совершенствования технологии работ [1].

Опалубочные работы составляют значительную долю трудоёмкости и стоимости возведения монолитного каркаса, поэтому выбор опалубочной системы во многом определяет сроки и экономичность строительства [2]. Для многоэтажных зданий наибольшее распространение получили три технологии: скользящая, подъёмно-переставная и крупнощитовая опалубка. Требования к их конструкции установлены ГОСТ 34329-2017 [3].

Цель работы — сравнить указанные технологии по конструктивным, технологическим и организационным показателям и сформулировать рекомендации по их рациональному применению при возведении многоэтажных зданий.

Принципиальные схемы рассматриваемых опалубочных систем приведены на рис. 1.

Скользящая опалубка (рис. 1, а) представляет собой замкнутый по контуру стен комплект щитов высотой 1,1–1,2 м, закреплённых на домкратных рамах. Гидравлические домкраты, опирающиеся на домкратные стержни, непрерывно поднимают опалубку вместе с рабочим настилом и подвесными подмостями по мере укладки бетонной смеси. Бетон выходит из-под щитов, набрав прочность, достаточную для сохранения формы. Работы ведутся круглосуточно, без перерывов, поэтому стены получаются без рабочих швов бетонирования [4].

Подъёмно-переставная опалубка (рис. 1, б) возводит стены ярусами, как правило высотой в этаж. После того как бетон яруса наберёт требуемую прочность, щиты отрывают от стены и поднимают на следующий ярус краном или собственными гидравлическими механизмами (самоподъёмная опалубка). Опалубка с рабочими площадками опирается на консоли, закреплённые анкерами в ранее забетонированном ярусе. Такая технология широко применяется при возведении железобетонных ядер жёсткости, лифтовых и лестничных шахт многоэтажных зданий [5].

Крупнощитовая опалубка (рис. 1, в) состоит из щитов площадью до размера стены помещения, оснащённых подкосами, подмостями и элементами для регулировки положения. Щиты устанавливаются и переставляются краном с захватки на захватку. Стены и перекрытия бетонируют поэтажно; перекрытия возводят в опалубке перекрытий

(балочной, столовой и др.), что позволяет получать каркас любой планировки.

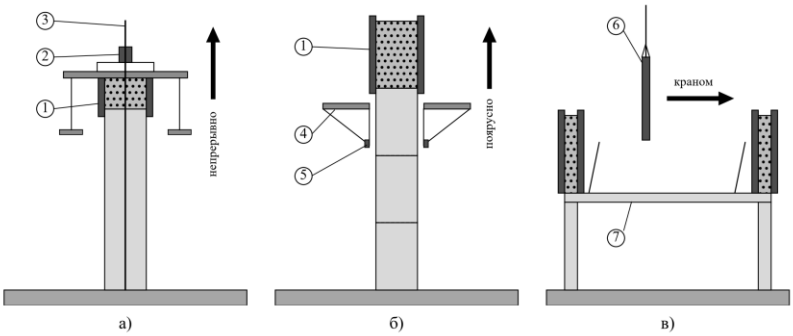


Рис. 1 – Принципиальные схемы опалубочных систем: а – скользящая; б – подъёмно-переставная; в – крупнощитовая; 1 – щиты опалубки; 2 – гидравлический домкрат; 3 – домкратный стержень; 4 – консольная рабочая площадка; 5 – анкер в ранее забетонированном ярусе; 6 – крупноразмерный щит; 7 – ранее возведённое перекрытие

Для сравнения технологий выбраны показатели, которые определяют выбор опалубочной системы при проектировании производства работ: принцип работы, порядок возведения перекрытий, зависимость от крана, требования к непрерывности работ, к архитектурно-планировочному решению и к квалификации персонала. Результаты сравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение технологий возведения монолитных многоэтажных зданий

Показатель	**Скользящая**	**Подъёмно-переставная**	**Крупнощитовая**
Принцип работы	Непрерывный подъём опалубки домкратами	Поярусная перестановка после набора прочности	Поэтажная перестановка щитов краном
Рабочие швы в стенах	Отсутствуют	По границам ярусов	По границам этажей
Возведение перекрытий	Отдельно, после стен или с отставанием	Отдельно; ядро опережает перекрытия	Вместе со стенами, поэтажно

Зависимость от крана	Минимальная	Средняя; у самоподъёмной – минимальная	Высокая
Непрерывность работ	Обязательна, круглосуточно	Допускаются перерывы между ярусами	Допускаются перерывы между захватками
Требования к плану здания	Неизменный по высоте план, простая форма	Повторяющийся план ядра или стен	Любой план, в т.ч. переменный по этажам
Требования к квалификации и организации	Очень высокие	Высокие	Средние
Рациональная область применения	Ядра, шахты, башни, здания с одинаковым планом	Ядра жёсткости высотных зданий, шахты	Жилые и общественные здания массовой этажности

Сравнение показывает, что ни одна из технологий не является универсальной. Скользящая опалубка обеспечивает наибольшую скорость возведения стен и бесшовность конструкции, но предъявляет самые жёсткие требования к организации работ: перерыв в подаче бетонной смеси или отказ оборудования приводит к образованию незапланированного рабочего шва и может вызвать сцепление бетона со щитами. Кроме того, устройство перекрытий и проёмов при непрерывном подъёме опалубки существенно усложняется, поэтому для жилых зданий с поэтажными перекрытиями технология применяется ограниченно.

Подъёмно-переставная опалубка занимает промежуточное положение. Поярусное бетонирование допускает перерывы в работе, а самоподъёмные системы практически не загружают башенный кран, который освобождается для других работ. Это делает технологию рациональной для опережающего возведения ядер жёсткости, воспринимающих основную часть горизонтальных нагрузок здания [5].

Крупнощитовая опалубка наиболее универсальна: она позволяет возводить стены и перекрытия поэтажно при любой планировке, обеспечивает высокое качество поверхности бетона и не требует непрерывной работы. Её недостатки — большая загрузка крана и меньшая, чем у скользящей опалубки, скорость возведения. Качество работ при любой технологии контролируется в соответствии с СП 70.13330.2012 [6].

Для наглядного сопоставления качественные характеристики технологий (табл. 1) переведены в трёхбалльную шкалу: по каждому

показателю технологии ранжированы относительно друг друга (3 — лучшее значение показателя, 2 — среднее, 1 — худшее), все показатели приняты равнозначными. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительная балльная оценка технологий

Показатель	**Скользящая**	**Подъёмно-переставная**	**Крупно-щитовая**
Скорость возведения стен	3	2	1
Технологичность возведения перекрытий	1	2	3
Гибкость к архитектурно-планировочному решению	1	2	3
Независимость от крана	3	2	1
Качество поверхности бетона	1	2	3
Простота организации работ	1	2	3
Итого	10	12	14

По сумме баллов для типовых многоэтажных жилых и общественных зданий наиболее рациональна крупнощитовая опалубка. Однако оценка зависит от весомости показателей: если решающими являются сроки возведения вертикальных конструкций и ограниченная загрузка крана (высотные здания, ядра жёсткости, башни), преимущество получают подъёмно-переставная и скользящая опалубка.

Перспективным представляется комбинированное решение: ядро жёсткости возводится с опережением в самоподъёмной или скользящей опалубке, а остальная часть каркаса — в крупнощитовой опалубке стен и опалубке перекрытий. При этом необходимо учитывать, что монолитный каркас работает как единая пространственная система совместно с основанием, а последовательность возведения и расположение рабочих швов влияют на распределение усилий в его элементах [7].

Таким образом, выбор опалубочной системы для многоэтажного монолитного здания следует выполнять на основе комплексного сравнения вариантов с учётом этажности, конструктивной схемы, архитектурно-планировочного решения, сроков строительства и уровня организации работ. Скользящая опалубка эффективна для сооружений с неизменным по высоте планом и при обеспечении непрерывности

работ; подъёмно-переставная — для ядер жёсткости и шахт; крупнощитовая — для массового жилищного строительства с поэтажным возведением стен и перекрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов А.С., Кузнецов Д.В. Методы повышения эффективности монолитного строительства зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 64–68.

2. Кочерженко В.В. Технология возведения сооружений / В.В. Кочерженко. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010.

3. ГОСТ 34329-2017. Опалубка для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций. Общие технические условия.

4. Ефимов М.Н. О перспективе возведения высотных сооружений в скользящей опалубке // Пече-трубостроение: тепловые режимы, конструкции, автоматизация и экология: Пленарные доклады: Материалы 3-го Международного конгресса. – Москва, 2006.

5. Хамед Б.И., Сапожников П.В., Есипов С.М. Анализ современных исследований работы железобетонных ядер и диафрагм жёсткости многоэтажных гражданских зданий // Наукоемкие технологии и инновации (XXVI научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 25 ноября 2025 года. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 118–121.

6. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.

7. Есипов С.М., Турков А.В., Дьяченко А.Ю., Есипова Д.В. Напряженно-деформированное состояние фундамента в условиях вечной мерзлоты и его влияние на усилия в элементах надземной части здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – Т. 8, № 12. – С. 16–31.

УДК 666.94

Дреер Ю.И., Каткова В.Д.
Научный руководитель: Новоселов А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Одним из наиболее важных мероприятий при обжиге клинкера является снижение энергозатрат и потребления природных сырьевых материалов [1-3]. Альтернативой природным сырьевым материалам могут выступать техногенные отходы, например, металлургические шлаки, которые в своем составе содержат оксид кальция не в виде карбоната, а преимущественно в виде силикатов кальция [4]. То есть затраты на разложение карбоната кальция будут снижаться. Кроме оксида кальция в составе шлаков содержатся необходимые оксиды алюминия и железа, что может исключить использование дорогостоящих корректирующих добавок или сократить их процент ввода.

Кроме металлургических шлаков в качестве альтернативы природному карбонатному компоненту может использоваться химически осажденный мел (Х.О.М.). Химически осажденный мел отличается высокой степенью чистоты с минимальным содержанием примесей. Кроме того, при измельчении он может становиться высокодисперсным, что положительно скажется на реакционной способности и режиме обжига клинкера. Снижение удельного расхода топлива на обжиг клинкера при использовании химически осажденного мела может осуществляться только за счет снижения температуры обжига, т.е. за счет повышенной реакционной способности карбоната.

Совместное применение химически осажденного мела и металлургических шлаков позволит получить экономию топлива при обжиге клинкера и существенно снизить или полностью исключить использование природных сырьевых материалов и корректирующих добавок.

Однако использование техногенных отходов металлургических производств может ограничиваться вследствие высокого содержания в их составе нежелательных оксидов, в частности оксида магния, концентрация которого регламентируется ГОСТом в конечном продукте. Помимо этого, присутствие разнообразных примесей в металлургических шлаках

способно привести к ухудшению качества производимого клинкера и цемента.

Поэтому целью работы является получение качественного клинкера и цемента из техногенных материалов. Для этого в работе приводится сравнительная характеристика клинкеров, синтезированных из природных материалов и техногенных продуктов.

В работе использовались следующие сырьевые материалы (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов, %

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	ППП
Известняк	0,58	0,27	0,1	54,84	0,51	0,01	0,05	43,48
Глина	69,07	15,47	3,62	1,39	2,06	0,00	2,42	5,96
Боксит	20,34	45,73	13,62	3,00	0,83	0,61	0,36	15,51
ЖСД	2,18	0,73	63,96	16,88	4,53	0,00	0,00	6,7
Х.О.М.	0,34	0,07	0,08	54,3	0,07	0,00	0,04	43,94
Шлак ОЭМК	24,21	4,21	11,69	39,87	8,64	0,41	0,25	10,72
Шлак отвальный	12,97	19,95	3,25	38,26	7,43	1,18	0,29	16,68
Доменный шлак	40,58	6,61	0,21	44,4	4,92	1,26	1,24	0,69

Контрольная сырьевая смесь состояла из природных материалов: известняка, глины, бокситов. В качестве корректирующей добавки использовалась железосодержащая добавка (ЖСД).

Экспериментальная сырьевая смесь состояла из техногенных материалов: химически осажденный мел и шлаки: ОЭМК, отвальный, доменный.

Таблица 2 – Расчетный химический состав сырьевой смеси и клинкера

Клинкер контрольный, %										
Компонент	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	ППП	Пр.	Сумма
С. смесь	14,07	3,34	2,78	43,12	0,93	0,01	0,51	34,96	0,27	100

Клинкер	21,63	5,14	4,27	66,30	1,43	0,02	0,78	-	0,42	100
Клинкер из техногенных отходов, %										
С. смесь	15,57	3,69	3,09	47,72	3,62	0,44	0,37	24,93	0,58	100
Клинкер	20,74	4,92	4,12	63,57	4,82	0,59	0,49	-	0,77	100

Таблица 3 – Расчетный минералогический состав клинкеров, %

Клинкер контрольный					
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	MgO	Сумма
64,93	13,04	6,38	12,98	1,43	98,76
Клинкер из техногенных отходов					
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	MgO	Сумма
62,26	12,50	6,05	12,52	4,82	98,15

Соотношение компонентов в сырьевых смесях соответствовало получению рядового клинкера со следующими модульными характеристиками: КН=0,93, n = 2,3, p = 1,2. Расчетный химический состав сырьевых смесей, клинкеров и расчетный минералогический состав клинкеров представлен в таблицах 2 и 3 соответственно.

Для анализа степени усвоения оксида кальция в зависимости от температуры обжига из смесей прессовались 12 таблеток по 2 г (6 контрольного клинкера, 6 клинкера их техногенных отходов). Сформованные таблетки обжигались в температурном интервале 1200…1450 °С с шагом 50 °С и изотермической выдержкой 15 минут. Продукты обжига анализировались с помощью этилово-глицератного метода на содержание свободного оксида кальция. Результат анализа приведен на рисунке 1.

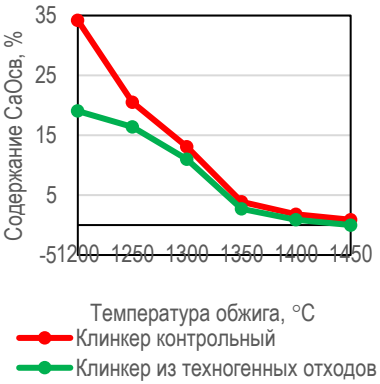


Рис. 1 Кинетика усвоения CaOсв

Исследование показало, что в сырьевой смеси на основе техногенных материалов быстрее связывается свободный оксид кальция при повышении температуры. При температуре 1450 °С содержание свободного CaO в клинкере из техногенных отходов составило около 0%, тогда как в контрольном образце – 0,9%. Это связано с тем, что шлаки содержат примеси, ускоряющие образование жидкой фазы и интенсифицирующие процесс клинкерообразования. Благодаря этому могут снизиться температура спекания и энергозатраты на производство.

Из исходных сырьевых смесей прессовалась основная партия таблеток массой по 15 г. Полученные образцы обжигались в высокотемпературной печи при 1450 °С с изотермической выдержкой в течение 60 минут. Охлаждение образцов осуществлялось до 1250 °С в печи в течение 10 минут, затем на воздухе, имитируя процесс охлаждения во вращающейся печи.

Рентгенофазовый анализ полученных клинкеров показал, что синтезированные клинкеры практически не отличаются по своему составу (рис.2).

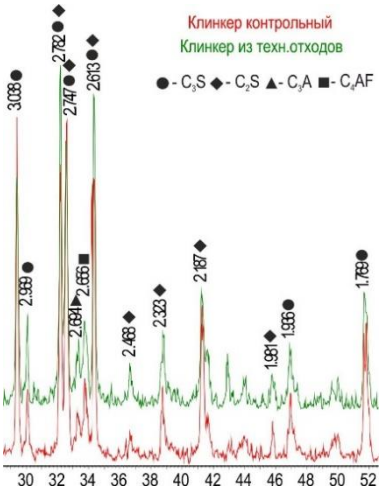


Рис. 2 Фазовый состав синтезированных клинкеров

На рентгенограммах фиксируются дифракционные отражения алита (3.038 Å, 2.975 Å, 2.780 Å, 2.611 Å, 2.327 Å, 2.185 Å, 1.979 Å и 1.769 Å), белита (2.780 Å, 2.747 Å и 2.185 Å), трехкальциевого алюмината (2.695 Å) и четырехкальциевого алюмоферрита (2.658 Å). Свободный оксид кальция отсутствует, дополнительные фазы не идентифицируются.

Петрографический анализ выявил заметные различия в структуре исследуемых образцов. Для клинкера из техногенных отходов характерны более крупные кристаллы минералов (рис. 3).

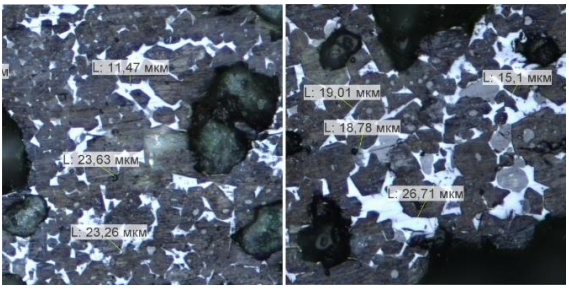


Рис. 3 Микроструктура синтезированных клинкеров контрольного из техногенных отходов

Размер отдельных зерен алита достигает 68 мкм. Такая структура может формироваться при повышенном количестве жидкой фазы и

более интенсивном протекании процессов спекания. Контрольный клинкер отличается более равномерной мелкозернистой структурой с размером кристаллов алита преимущественно от 15 до 35 мкм.

Для определения гидравлической активности цементов в малых образцах синтезированные клинкеры измельчались до удельной поверхности 350 м^2/кг, смешивались с двуводным гипсом (3% по SO_3) и затворялись водой. Прочность цемента (рис. 4) закономерно увеличивается с ростом времени твердения: от 29,6–30,7 МПа на 2-е сутки до 71,9–86,9 МПа к 28 суткам. Максимальное значение к 28 суткам достигает цемент, полученный на основе клинкера из техногенных отходов, что говорит о его высоком качестве. В целом, использование промышленных отходов показывает высокую эффективность, и позволяет получать портландцемент, не уступающий в характеристиках цементам, полученным из клинкера на основе природных компонентов.



Рис. 4 Гидравлическая активность цементов

Полученные результаты подтверждают целесообразность использования химически осажденного мела и металлургических шлаков в технологии портландцемента в качестве сырьевых компонентов и демонстрируют перспективность внедрения ресурсосберегающих решений в цементной промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новоселов А.Г, Дреер Ю.И., Новоселова И.Н., Васина Ю.А. Эффективность использования техногенного продукта электролитического производства алюминия в качестве минерализатора при обжиге портландцементного клинкера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2022. - № 5. - С. 71–80.

2. Волженский А. В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве // Строительные материалы. -1986. - № 5. - С. 28.

3. Новоселов А.Г., Дреер Ю.И., Литвинова Ю.И., Новоселова И.Н. Применение фторсодержащих отходов как способ сокращения расхода топлива и выбросов в атмосферу при обжиге клинкера // Цемент и его применение. - 2026. - №2. - С. 84-87.

4. Ершова, Ю. И. Изучение эффективности использования шлака ОЭМК при производстве цемента сухим способом / Ю. И. Ершова, А. Г. Новоселов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Посвящена 165-летию В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 3277-3281.

УДК 004.021

Дубровин В.В.
Научный руководитель: Крюков А.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДВУМЕРНОЙ УПАКОВКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Задачи рационального размещения геометрических объектов в ограниченной области возникают во многих направлениях промышленности, логистики и информационных технологий. К числу таких задач относится двумерная упаковка объектов прямоугольной формы (2D Bin Packing Problem), предполагающая размещение заданного множества прямоугольных объектов внутри одного или нескольких прямоугольных контейнеров с соблюдением геометрических ограничений и оптимизацией выбранного критерия эффективности.

Практическая значимость данной задачи обусловлена необходимостью повышения эффективности использования ограниченных материальных и вычислительных ресурсов. В производственных системах алгоритмы двумерного размещения применяются при раскрое листового металла, стекла, древесных материалов, тканей и других заготовок. В транспортной и складской

логистике аналогичные методы используются при размещении грузов и формировании схем паллетизации.

Практическая востребованность алгоритмов оптимального размещения объектов подтверждается существованием специализированных программных средств для автоматизации смежных задач. В частности, в работе [1] представлена зарегистрированная программа для ЭВМ, предназначенная для системы управления процессом паллетизации и депаллетизации ящиков. Задачи такого класса также предполагают формирование рациональных схем размещения объектов с учетом их геометрических параметров. Это показывает практическую значимость разработки и исследования алгоритмов упаковки не только для классических задач раскроя, но и для автоматизированных производственных и логистических систем.

Формально данная задача имеет следующую формулировку: заданы n объекты прямоугольной формы с размерами $(w_i \times h_i)$, $i = 1,\dots n$ и бин размером $(W \times H)$. Требуется разместить все объекты без перекрытий, минимизируя целевую функцию. Геометрическая интерпретация постановки задачи приведена на рисунке 1.

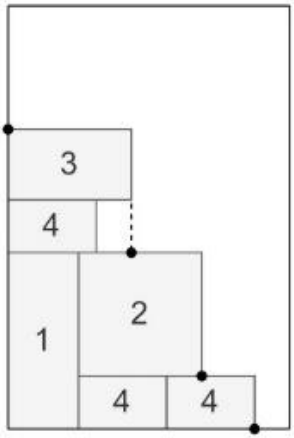


Рис. 1. Геометрическая интерпретация постановки задачи

Поскольку полный перебор требует факториального числа операций (например, для 30 элементов это $\approx 2{,}65 \cdot 10^{32}$ вариантов), переборные методы неприменимы на практике [2]. Поэтому на практике часто применяются жадные эвристические алгоритмы, размещающие элементы последовательно.

При этом различные алгоритмы двумерной упаковки используют разные способы представления свободного пространства и различные критерии выбора позиции очередного размещаемого объекта. Это приводит к различиям как в плотности получаемой упаковки, так и во времени выполнения алгоритма, объеме требуемой памяти и устойчивости результата к изменению размеров и количества входных объектов.

Целью данной работы является исследование и сравнительная оценка эффективности эвристических алгоритмов двумерной упаковки прямоугольников по показателям качества использования доступной площади и вычислительных затрат.

Для проведения эмпирической части исследования была разработана программа на языке Python, генерирующая наборы тестовых прямоугольников и выполняющая их упаковку. В процессе реализации использовались встроенные модули стандартной библиотеки Python (random, dataclasses) для детерминированной генерации тестовых данных, а также специализированная библиотека rectpack для применения эвристических алгоритмов двумерной упаковки (bin packing).

В рамках данной работы анализировались такие характеристики, как время работы, эффективность заполнения (коэффициент использования площади) и вычислительная сложность алгоритмов с целью минимизации производственных и вычислительных затрат.

Все эвристические алгоритмы следуют единой базовой структуре: сортировка входных данных, итеративное размещение элементов в локально оптимальную позицию и обновление структуры данных, отражающей свободное пространство. Классификация методов строится именно на способе представления этого свободного пространства и критериях выбора позиции (рис. 1).

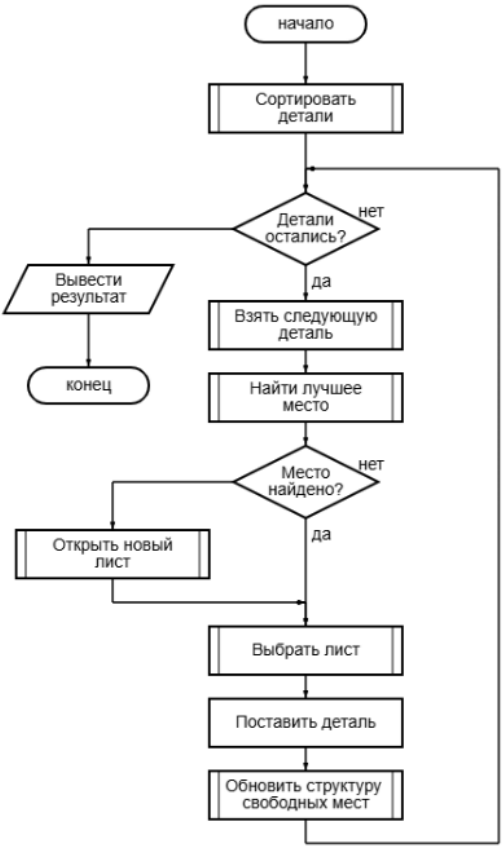


Рис. 1. Обобщенная блок-схема решения задачи двумерной упаковки

Ниже приведен сравнительный анализ четырех различных подходов, которые можно применять для решения поставленной задачи.

1. Уровневые алгоритмы (Shelf).

Контейнер делится на горизонтальные полосы (полки). Высота каждого уровня определяется первым размещенным на нем элементом. Пространство над более низкими элементами в пределах полки теряется.

Вариативность метода определяется способом выбора полки. Алгоритм Next Fit размещает элемент только на текущей открытой

полке (без возврата). Алгоритмы First Fit и Best Fit ищут подходящую полку среди всех открытых: первый – на первой подходящей по высоте, второй – на полке с минимальным неиспользованным остатком высоты [3]. Из-за неизбежных потерь пространства над элементами, методы данной группы имеют самую низкую плотность упаковки, но требуют минимальных вычислительных ресурсов.

2. Гильотинный разрез (Guillotine).

Основная идея данного метода заключается в том, что свободное пространство представляется списком непересекающихся прямоугольных областей. После размещения элемента в углу выбранной области, остаток разрезается одним сквозным (гильотинным) разрезом на две новые свободные секции. Метод идеально подходит для задач физического раскроя на станках.

Эффективность критически зависит от выбора секции (например, по минимальной площади или короткой стороне) и направления разреза (по короткой/длинной оси или по площади остатков). Наличие множества комбинаций правил позволяет адаптировать алгоритм под специфику задачи, но требует эмпирического подбора пары критериев под конкретное распределение данных.

3. Линия горизонта (Skyline).

Алгоритм хранит профиль (верхнюю линию) уже размещенных деталей – «линию горизонта». Новая деталь помещается на этот профиль, после чего линия горизонта обновляется.

Данный алгоритм может иметь модификации, такие как Bottom-Left, который ищет позицию, где верхняя сторона нового прямоугольника окажется на самой нижней возможной высоте. Для повышения плотности упаковки базовые критерии комбинируются со стратегиями управления отходами (Waste Management), которые выделяют локальные пустоты под профилем в отдельный список и пытаются заполнить их более мелкими деталями.

4. Максимальные прямоугольники (MaxRects).

В данном методе свободное место описывается списком всех максимальных свободных прямоугольных областей. При размещении элемента список обновляется путем разбиения пересекаемых областей. Это позволяет учитывать сложные формы свободного пространства, не прибегая к гильотинным ограничениям.

Выбор позиции осуществляется по правилам минимизации остатка (по короткой или длинной стороне), минимизации площади остатка или смещения к нижнему левому углу (Bottom-Left). Метод требует больше

памяти для хранения списка областей, но обеспечивает наивысшую стабильность и плотность упаковки.

Тестирование всех методов и их модификаций проводилось на идентичном наборе из 50 случайных прямоугольников, сгенерированных разработанной программой и сведено в итоговую таблицу.

Таблица – Сравнение эффективности исследуемых методов

Метод	Конфигурация	Коэффициент заполнения, %	Время выполнения, мс	Количество бинов
Shelf	NFDH	68,9	0,1	4
	FFDH / BFDH	85,4	0,1	4
Guillotine	BAF–MINAS	88,2	1,8	3
	BSSF–LLAS	72,7	10	4
Skyline	BL, MWF	78,7 – 84,3	3 – 6	4
MaxRects	BL	89,4	1,3	3
	BSSF, BAF	87,9 – 89,4	1,3 – 1,4	3

Видно, что метод MaxRects показал наилучшие результаты: коэффициент заполнения 89,4% при времени выполнения 1,3 мс. Разброс между конфигурациями составил всего 1,5 п.п., что подтверждает стабильность метода.

При жестком технологическом ограничении на гильотинный рез (раскрой стекла, металла на ЧПУ) необходимо использовать метод Guillotine с конфигурацией правил, минимизирующих площадь остатков (88,2%).

Полученные результаты подтверждают, что универсального алгоритма, одинаково эффективного для всех вариантов задачи двумерной упаковки, не существует. Выбор конкретного метода определяется особенностями предметной области, геометрическими характеристиками размещаемых объектов, технологическими ограничениями, а также требованиями к скорости формирования решения и эффективности использования пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682709 Российская Федерация. Программа для системы управления процесса паллетизации и депаллетизации ящиков : № 2022682091 : заявл. 17.11.2022 : опубл. 25.11.2022 / А. В. Крюков, Д. И. Горбов; заявитель федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М. : Мир, 1982. – 456 с.

3. Картак В. М. Задача упаковки прямоугольников: точный алгоритм на базе матричного представления // Вестник УГАТУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2007. – № 4 (22). – С. 104–110.

УДК 656

Евсюков А.В., Низовцев С.И.
Научный руководитель: Пахомова Л.В., канд. техн. наук, доц.
Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ В РЕЧНОМ ПОРТУ Г. ЛЕНСКА

Эффективность погрузочно-разгрузочных работ определяет продолжительность обработки транспортных средств и производительность перегрузочного оборудования [1].

В качестве объекта исследования принята разгрузка аммиачной селитры, транспортируемой в мягких контейнерах массой 500 кг, с использованием крана «Кировец» грузоподъемностью 32 т и многоподвесной грузозахватной траверсы.

Целью работы является анализ организации погрузочно-разгрузочных работ в речном порту г. Ленска на примере ООО «Алмаздортранс» и разработка предложений по повышению эффективности их выполнения.

Грузозахватная траверса обеспечивает одновременный захват 12 грузовых мест общей массой 6 т. Автомобиль вмещает 45 грузовых мест (22,5 т), вследствие чего разгрузка осуществляется четырьмя циклами: три цикла по 12 мест и один – по 9 мест.

Технологический цикл включает следующие операции: подача автомобиля → зацепка груза → подъем → перемещение → установка → отцепка → возврат траверсы.

Продолжительность цикла определяется численностью стропальщиков, расположением груза и организацией подачи автомобилей.

Для определения фактической продолжительности операций при разгрузке аммиачной селитры был проведен хронометраж работы стропальщиков и портового крана.

В ходе наблюдений фиксировалась продолжительность четырех основных операций: поворота крана к месту зацепки, зацепки грузовых мест, поворота крана к месту отцепки и отцепки груза. Замеры проводились при работе одного и двух стропальщиков. Результаты хронометража приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты хронометража технологических циклов

Цикл	Один стропальщик: к месту зацепки, мин	Зацепка, мин	К месту отцепки, мин	Отцепка, мин	Два стропальщика: к месту зацепки, мин	Зацепка, мин	К месту отцепки, мин	Отцепка, мин
1	1,0	2,0	1,2	3,0	0,67	3,0	1,0	2,5
2	1,2	4,0	1,0	1,2	1,0	2,0	1,2	1,5
3	1,0	3,0	1,0	2,0	1,1	1,0	1,3	1,5
4	1,0	2,0	1,0	1,3	1,0	3,0	1,2	2,0

При работе одного стропальщика суммарная продолжительность четырех циклов составила 26,9 мин. При работе двух стропальщиков суммарная продолжительность составила 25,0 мин. Экономия времени составила 1,9 мин, или 7,1 %.

Эффект от увеличения количества работников, участвующих в операциях зацепки и отцепки, оказался ограниченным, поскольку значительную часть продолжительности технологического цикла составляет время перемещения грузозахватного приспособления к месту зацепки и обратно к месту отцепки. Эти операции в основном определяются работой крана и расположением груза и поэтому не сокращаются пропорционально увеличению количества стропальщиков.

Основными факторами, ограничивающими эффективность технологического процесса, являются продолжительность стропальных операций, время перемещения крана и организация подачи автомобилей. Наибольшие потери рабочего времени связаны не с непосредственным выполнением подъема груза, а с ожиданием подачи следующего автомобиля.

После выполнения необходимых операций автомобиль направляется на другой склад, расположенный примерно в 10 км от

места проведения работ. После выполнения операций на складе автомобиль возвращается обратно. Расстояние одного полного оборота автомобиля составляет около 20 км.

При наличии около восьми автомобилей подача осуществляется практически непрерывно. При трех-четырех автомобилях продолжительность ожидания достигает 1–2 ч. Ожидание продолжительностью 1 ч вдвое превышает время непосредственной обработки автомобиля (25–27 мин), продолжительностью 2 ч – вчетверо.

На основании проведенного анализа организации погрузочно-разгрузочных работ в речном порту г. Ленска можно предложить комплекс мероприятий, направленных на сокращение непроизводительных простоев и повышение непрерывности работы перегрузочного оборудования.

Основной резерв – равномерная подача автомобилей. Полный оборот одного автомобиля занимает около 1 ч (10 км до склада и обратно плюс операции на складе). При недостатке транспорта возникают простои крана.

Для снижения ожидания необходимо организовать непрерывный оборот: пока один автомобиль разгружается, следующий должен быть в пути или на складе, еще один – готов к подаче. По наблюдениям, 6–8 автомобилей в обороте обеспечивают равномерную подачу.

Достаточно ведения журнала с фиксацией времени отправления, возвращения и подачи автомобиля к крану.

Дополнительный резерв – четкая последовательность операций зацепки и отцепки без лишних перемещений. Кран не должен ожидать завершения стропальных операций и ускорение достигается за счет распределения действий, а не нарушения требований безопасности.

Одним из потенциальных направлений повышения производительности является увеличение количества одновременно перемещаемых грузовых мест. Например, увеличение вместимости траверсы позволило бы уменьшить количество отдельных подъемов при обработке одного автомобиля [2].

Увеличение вместимости траверсы требует предварительной проверки грузоподъемности крана при фактическом вылете стрелы, массы траверсы и допустимых нагрузок на ее элементы.

Целесообразно вести учет следующих показателей: время обработки каждого автомобиля, количество выполненных подъемов и перемещенных грузовых мест, продолжительность и причины простоев, численность работающих стропальщиков.

Для оценки эффективности предложенных мероприятий проведем расчет на основании фактических данных, полученных в ходе наблюдений за работой перегрузочного комплекса.

Продолжительность фактической работы крана в течение смены составляет 9,5 ч. За это время при различной обеспеченности автомобильным транспортом были получены следующие результаты.

В первой рассмотренной смене переработано 765 грузовых мест (382,5 т, 17 автомобилей), средняя производительность – 40,3 т/ч.

Во второй рассмотренной смене переработано 945 грузовых мест (472,5 т, 21 автомобиль), средняя производительность – 49,7 т/ч.

Различие в объеме переработки составило 90 т, или 23,5 %.

Другим важным резервом является сокращение ожидания автомобильного транспорта.

При полном исключении ожидания продолжительностью 1 ч резерв составляет 2,4 автомобиля (54 т), продолжительностью 2 ч – 4,8 автомобиля (108 т).

Расчетная производительность при непрерывной работе составляет 22,8 автомобиля, или 513 т [3]. Фактически во второй смене обработан 21 автомобиль (472,5 т), что близко к расчетному максимуму.

Мероприятия и их ожидаемый эффект приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Мероприятие и их влияние на процесс

Мероприятие	Основной эффект
Увеличение автомобилей в обороте	Сокращение ожидания крана
Согласование движения автомобилей с работой крана	Более равномерная подача транспорта
Использование двух стропальщиков при высокой загрузке	Сокращение времени отдельных стропальных операций
Рациональная организация зацепки и отцепки	Снижение потерь времени внутри технологического цикла
Оперативный учет простоев и причин их возникновения	Возможность выявления систематических проблем
Техническая оценка возможности совершенствования траверсы	Потенциальное сокращение количества подъемов на один автомобиль

Предложенные мероприятия не требуют обязательной замены существующего крана или полного переоснащения перегрузочного комплекса. Это позволяет рассматривать их как организационно-технологические, которые могут быть реализованы с небольшими затратами.

Для окончательной количественной оценки экономической эффективности необходимо дополнительно определить затраты на организацию транспортного резерва, возможные расходы на привлечение дополнительного персонала и техническое совершенствование грузозахватного оборудования. После получения этих данных можно определить экономию затрат и срок окупаемости соответствующих мероприятий.

Рассмотрена организация погрузочно-разгрузочных работ в речном порту г. Ленска (разгрузка аммиачной селитры краном «Кировец» с многоподвесной траверсой). Хронометраж показал, что обработка автомобиля занимает 26,9 мин при одном стропальщике и 25,0 мин при двух (экономия 7,1 %). Основной резерв – не стропальные операции, а простой крана из-за ожидания автомобилей, достигающий 1–2 ч. Предложены организационные мероприятия, не требующие замены крана.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карташова, О. И. Обоснование оптимального варианта инфраструктурного обеспечения воднотранспортного терминала / О. И. Карташова, А. О. Ничипорук // Научные проблемы водного транспорта. – 2025. – № 83. – С. 115-123. – DOI 10.37890/jwt.vi83.606. – EDN DLYLKD.

2. Зуб, И. В. Модель выбора портового перегрузочного оборудования на основе моделирования технологической линии порта / И. В. Зуб, Ю. Е. Ежов, Н. Н. Стенин // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 1016-1028. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1016-1028. – EDN GTLQDP.

3. Носов В.П. Технология и организация перегрузочных процессов / В.П. Носов. – Новосибирск: ФГБОУ ВО «Сибирс. гос. универ. водн. транс.». – 2022, 116 с.

УДК 69.055.4

Ермак Я.Ю., Гиенко А.С., Алифанова Э.С.
Научный руководитель: Есипов С.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ

Строительная отрасль характеризуется высоким уровнем физических нагрузок и травматизма. Основными факторами являются ручной труд, перемещение тяжестей, вынужденные рабочие позы, вибрационное воздействие при работе со станками и инструментом. Указанные факторы способствуют развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата, суставов и связок. Экзоскелеты — носимые мехатронные устройства — обеспечивают частичную компенсацию мышечного усилия и снижение нагрузки на позвоночник и суставы [1]. В медицинской практике экзоскелеты применяются длительное время. Их использование в строительстве осложняется переменным характером нагрузки, работой на высоте, неровными поверхностями и повторяемостью операций. В военной сфере экзоскелеты представлены преимущественно выставочными образцами и не получили распространения в качестве полевых устройств. Известны зарубежные разработки: HAL (Япония) — поддержка поясничного отдела; EksoVest (США) — поддержка верхних конечностей при работе на высоте; FORTIS (США) — удержание инструмента. В России разработкой экзоскелетов занимается компания Exorise, выпускающая специализированные модели для поддержки поясницы, верхней части тела и компенсации работы мышц спины. Цель работы — анализ технологий создания экзоскелетов и оценка перспектив их внедрения в различные сферы, прежде всего в строительную отрасль.

1. Технические и приводные решения

Активный экзоскелет принципиально отличается от пассивного. Его назначение — многократное увеличение усилий, прилагаемых пользователем. Конструкция включает связанные звенья, цилиндрические шарниры, электромоторы; возможно применение гидравлических или пневматических систем. Блинов и соавторы [2] предложили антропоидную модель из пяти стержней. Её динамика описывается дифференциальными уравнениями; задача Коши решается численно. Полученный результат свидетельствует о неустойчивости

системы; для повышения устойчивости требуется подбор или разработка специального алгоритма стабилизации [2]. Для строительных условий это имеет критическое значение: нагрузка изменяется непрерывно, а экзоскелет должен фиксировать изменяющуюся нагрузку и обеспечивать требуемое увеличение усилия. Активные экзоскелеты обеспечивают увеличение силы и выносливости, однако имеют более высокую стоимость и энергопотребление по сравнению с пассивными. Снижение энергопотребления достигается применением гравитационных компенсаторов. Карлов и соавторы [4] рассмотрели гибридный линейный гравитационный компенсатор (ГЛГК). Модель описывается дифференциальными уравнениями второго порядка; траектории заданы полиномами седьмого порядка. Моделирование показало снижение крутящих моментов и энергопотребления, что повышает время автономной работы устройства [4]. Практическое следствие — выполнение смены без частой подзарядки. При отсутствии такого решения практическая применимость устройства ограничена.

2. Сенсорные и управляющие системы

Мощность приводов не является единственным условием эффективности. При недостаточной простоте управления даже базовые задачи могут усложняться, тогда как основная функция экзоскелета — облегчение труда. Яцун и соавторы [7] построили модель экзоскелета нижних конечностей с десятью активными степенями свободы. Траектории задаются векторно-матричным методом с матрицей Якоби; обратная задача кинематики определяет обобщённые координаты. Метод обеспечивает достаточную синхронность с действиями оператора и не создаёт усилий, препятствующих оператору [7]. В строительных условиях существенен контроль проекции центра масс, определяющий равновесие при переносе тяжестей и работе на узкой опоре.

Обратная связь реализуется на тканых сенсорах. Беспалов и соавторы [1] анализируют композиты с сенсорными свойствами для нательных сетей. Они регистрируют напряжённо-деформированное состояние и работают в составе IoT через граничные вычисления (Edge Computing). Это позволяет интегрировать датчики в ткань костюма без жёстких накладок. Система в реальном времени регистрирует усилия, углы сгиба, усталость и корректирует поддержку. Следовательно, повышается синхронность работы и обеспечивается увеличение усилия оператора в требуемый момент и в заданном направлении.

3. Применение на строительных площадках

Экзоскелеты снижают физическую нагрузку и травматизм. При сравнении нагрузок на человека без экзоскелета и человека, экипированного экзоскелетом, отмечается снижение утомляемости и повышение производительности. Яковлев и Иванов [5] отмечают, что автоматизированные устройства повышают производительность, способствуют решению кадрового дефицита и повышают безопасность. Они востребованы при повторяющихся операциях с грузом, удержании инструмента и работе на высоте. Физическая и ментальная усталость формируют на площадке опасные производственные ситуации. Внедрение экзоскелетов связано с увеличением затрат на услуги и, как следствие, с повышением их стоимости. Возникают проблемы адаптации к нестандартным условиям, а также правовые вопросы, касающиеся ценообразования, трудовых условий и требуемых классификаций [5]. Экзоскелет следует рассматривать не как изолированное решение, а как элемент системы механизации и охраны труда, требующий переработки технической документации и разработки новых ГОСТов в строительстве. Максимальный эффект достигается при интеграции в цифровую инфраструктуру. Ялкапов [6] отмечает, что IoT-технологии позволяют перейти от реактивной модели безопасности к превентивной. Носимые устройства — «умные» каски, браслеты — обеспечивают контроль положения и состояния здоровья рабочих. Беспилотные летательные аппараты с тепловизорами и сканерами выполняют картографирование зон риска. Экзоскелет с сенсорами включается в указанную систему: данные о нагрузке и перемещениях анализируются совместно с показателями конструкций и микроклимата. Усталость прогнозируется заранее. Перспективны «умные» материалы с самовосстановлением и накоплением энергии [3].

Инновационные технологии переводят экзоскелет из лабораторного устройства в рабочий инструмент. Основу составляют активные системы с электроприводами; энергоэффективность обеспечивается гравитационными компенсаторами. Управление реализуется на кинематических моделях, обратная связь — на тканых сенсорных сетях. В строительстве экзоскелеты снижают нагрузку и травматизм; интеграция с IoT и «умными» материалами формирует цифровую среду охраны труда. Дальнейшее развитие направлено на автономность, адаптивность и интеграцию. Преодоление конструктивных и правовых барьеров позволит сделать экзоскелеты штатным средством механизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалов, М. Е. Тканые сенсорные системы для беспроводных нательных сетей / М. Е. Беспалов, Н. В. Минаева, Т. Л. Гольцева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2023.

2. Блинов, А. О. Моделирование движения активного экзоскелета с пятью управляемыми электроприводами звеньями / А. О. Блинов, А. В. Борисов, Л. В. Кончина, М. Г. Куликова, К. С. Маслова // Российский журнал биомеханики. — 2023. — Т. 27, № 4. — С. 186—199.

3. Какабаев, М. Умные материалы в строительстве: материаловедение будущего / М. Какабаев, Г. Дадеев, И. Довлетгельдиев. — Ашхабад : Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, 2025.

4. Карлов, А. Е. Моделирование экзоскелета с гибридным линейным гравитационным компенсатором / А. Е. Карлов, А. А. Постольный, А. В. Федоров, С. Ф. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2020. — Т. 24, № 3. — С. 66—78.

5. Яковлев, А. П. Использование робототехники в строительной отрасли в наши дни / А. П. Яковлев, Д. В. Иванов // International Journal of Humanities and Natural Sciences. — 2024. — № 11-3. — С. 272—275.

6. Ялкапов, П. Системы автоматизированного мониторинга состояния конструкций и безопасности на строительной площадке с применением IoT / П. Ялкапов. — Ашхабад : Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, 2024.

7. Яцун, С. Ф. Моделирование управляемого движения человека при ходьбе в экзоскелете / С. Ф. Яцун, О. Г. Локтионова, Х. Х. М. Аль Манджи, А. С. Яцун, А. Е. Карлов // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2019. — Т. 23, № 6. — С. 133—147.

УДК 621.926.5

Ермоленко А.О., Исса Ю.М., Токмаков А.С., Хромых К.А.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

На предприятиях промышленности строительных материалов преимущественное распространение получили шаровые мельницы (ШМ), успешно применяемые на протяжении более ста лет для помола различных материалов. Их широкому распространению способствовали универсальность применения; простота конструкции и эксплуатации; достаточно относительная высокая производительность; возможность измельчения материалов с относительно большой исходной крупностью кусков, различной гаммой свойств, в том числе и с пониженной размалываемостью как в условиях сухого, так и мокрого помолов.

В последние десятилетия появилась тенденция укрупнение размеров мельниц, причем этот процесс постепенно достигает своего предела. Исторически самые крупные мельницы устанавливались в цементной промышленности, однако сейчас приоритет перешел к цветной металлургии и железорудной промышленности [1].

Укрупнение размеров привело к изменению концепции конструирования приводов мельниц. Появились мельницы со сдвоенным приводом и скоростными редукторами, безредукторные с кольцевыми электродвигателями, опорой на барабан с использованием специальных самоцентрирующихся гидростатических опорных подшипников. В настоящий момент предел мощности, передаваемой на ведущую вал-шестерню зубчатой пары, составляет около 8000 кВт. Поэтому мельницы с мощностью привода более 15000 кВт поставляются с кольцевым двигателем. Самая крупная установленная шаровая мельница имеет диаметр 7,93 м и привод мощностью 15500 кВт, крупнейшая мельница полусамоизмельчения, работающая на предприятии Cadia в Австралии, имеет диаметр 12,2 м и кольцевой привод 20000 кВт. Обе мельницы произведены Metso Minerals (Svedala).

Из зарубежных производителей мельницы больших диаметров предлагают Metso Minerals (шаровые – до 8,23 м, полусамоизмельчения

– до 13,4 м), ThyssenKrupp Polysius (шаровые – до 7,3 м, полусамоизмельчения – до 13,4 м), Outokumpu (шаровые – до 7,3 м, полусамоизмельчения – до 10,4 м), FFE Minerals (шаровые – до 7,9 м, полусамоизмельчения – до 13,4 м). В качестве первого примера использования импортных большеобъемных мельниц в России и странах СНГ можно привести установку двух шаровых мельниц с кольцевым электроприводом 6,5х9,6 м (Outokumpu) на комбинате «Печенганикель» [3].

Следующим важным фактором повышения эффективности работы цементных мельниц (до 30%) является применение замкнутого цикла измельчения. Для этого мельница комплектуется сепарирующей системой и специальными транспортирующими устройствами. Материал, прошедший измельчение и содержащий часть крупных (некондиционных) фракций направляется в воздушный сепаратор, где тонкие фракции отделяются от грубых и удаляются как готовый продукт, а грубые возвращаются в мельницу на домол вместе с исходным материалом. Существует несколько схем замкнутого цикла, которые различаются местом отвода полидисперсного продукта из межкамерного пространства или на выходе из мельницы. Сепараторы также имеют несколько конструктивных вариантов, но работают на одном принципе – принудительном разделении под действием центробежных сил инерции в пылегазовых потоках. Несомненным преимуществом замкнутого цикла является гарантированное получение продукта с заданным верхним пределом дисперсности путем соответствующей регулировки сепаратора. При этом сама мельница настраивается на режим, наиболее выгодный в энергетическом отношении. В последнем основную роль играет отсутствие необходимости получения высокодисперсного продукта непосредственно на выходе, и избежать вследствие этого агрегации частиц в зоне последних метров барабана мельницы. Замкнутый цикл измельчения, обладая рядом преимуществ в сравнении с открытым, является все же паллиативом: резко возрастает сложность и громоздкость помольного агрегата, добавляются уязвимые узлы: транспортирующие и вентиляционные устройства. Обеспечение мельницы производительностью 50-100 т/час этими устройствами уже само по себе является сложной технической задачей.

Еще одним важным фактором повышения рабочего процесса в шаровых барабанных мельницах является применение интенсификаторов помола. Действие этих веществ, являющихся органическими соединениями, основывается в основном на "эффекте

Ребиндера", который применим только к измельчению, основывается на том, что деформация в поверхностно-активных средах или в присутствии весьма малых добавок адсорбирующихся веществ позволяет в ряде случаев коренным образом изменять механические свойства деформируемого тела, т.е. его поведение под нагрузкой. Уменьшение сопротивляемости помолу сказывается уже на стадии грубого помола при введении ничтожно малых количеств ИП поверхностно-активных веществ (ПАВ) до 0,01-0,03%. Одновременно с этим значительно изменяются в лучшую сторону такие свойства массы, как уменьшение склонности к агрегированию, текучесть (подвижность). Применение ИП позволяет значительно повысить эффективность измельчения на 15-25% . В качестве интенсификатора в ПАВ у нас в стране применяются в основном триэтиламин (ТЭА) или его смесь с сульфитно-спиртовой бардой (ССБ), а также некоторые другие органические соединения. В дальнейшем развитии этого мощного средства повышения эффективности помола предстоит решение сложной задачи рационального введения ИП в мельницу. Здесь имеются в виду устройства для подачи ИП во вторые (цильпебсные) камеры мельниц, где их действие было бы особенно эффективным. [2].

За счет введения различных интенсификаторов помола в виде поверхностно-активных веществ, также повышается эффективность процесса измельчения в условиях сухого помола, тем самым повышает производительность ШМ до 15% [4].

Широкое применение получили ШМ с внутримельничными классифицирующими устройствами и разгрузкой материала через сито. Они могут использоваться в открытом и замкнутом циклах. К недостаткам следует отнести невысокую эксплуатационную надёжность и повышенную ремонтосложность, обусловленные составной конструкцией корпуса и необходимостью осуществления его сборки - разборки при замене перфорированных бронеплит. Составная конструкция корпуса ограничивает его загрузку мелющими телами до коэффициента $\varphi \leq 0{,}12$, что обуславливает невысокие производительность и эффективность процесса измельчения.

Применение внутримельничных энергообменных устройств (ВЭУ) позволяет снизить до 20% потребляемой мощности привода, удельные энергозатраты уменьшаются на 8-25%, расход МТ – на 10-30 % [5].

Таким образом, представленные основные направления совершенствования конструктивно-технических параметров шаровых мельниц приводят к повышению эффективности процесса помола

материала, путем интенсификации его измельчения, выражающейся в увеличении производительности мельниц и снижения удельного расхода электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Размол [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.stroit.ru– Заглавие с экрана (дата обращения (12.10.2026).

2. Потье, Л. Оптимизация помола с использованием сепараторов TSV / А. С. Л. Потье, Ф. Ньель // Цемент и его применение. – 2009. – №3. – С.46-48.

3. Сагитов И.А., Ханин С.И. Анализ современного применения шаровых мельниц и направления их совершенствования // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXI. – 2022. – С. 300–305.

4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г, Денисова Е.М., Королева Л.А. Способы интенсификации работы трубных шаровых мельниц // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XIX. – 2020. – С. 167–172.

5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Картыгин А.В., Белоус А.С., Зайцев М.С. Теоретические исследования влияния внутримельничных энергообменных устройств на эффективность процесса измельчения // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XIX. – 2020. – С. 162–166.

УДК 332.8

Захаркин Д.И.
Научный руководитель: Рябчевский И.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ

Формирование доступной среды для маломобильных групп населения (МГН) в исторических центрах российских городов представляет собой сложный и противоречивый процесс, обусловленный необходимостью согласования двух разнонаправленных требований: обеспечения равного доступа граждан к городской инфраструктуре и сохранения уникального существующего архитектурно-исторического наследия [1, 2]. Основой современной градостроительной политики выступает переход от медицинской модели инвалидности к социальной, в рамках которой барьеры создаются неприспособленной средой, что закреплено в Конвенции ООН о правах инвалидов, ратифицированной Российской Федерацией в 2012 г., а также в государственной программе «Доступная среда» с пересмотром традиционных подходов к архитектурно-градостроительному проектированию [3, 4]. Однако если задача создания безбарьерной среды на вновь осваиваемых территориях решается относительно просто, то адаптация исторически сложившихся районов, особенно жилой застройки, сопряжена с комплексом трудноразрешимых противоречий.

Исторические центры городов представляют собой уникальную среду: с одной стороны, они являются бесценным архитектурным наследием, с другой – активно функционирующими жилыми образованиями, концентрирующими значительную долю городского населения, в том числе пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья. Планировочная структура исторических кварталов, формировавшаяся в доиндустриальный период, изначально не предполагала учета потребностей МГН. Узкие тротуары и проезды, перепады рельефа, отсутствие лифтов в многоквартирных домах, ступенчатые входные группы и высокие цоколи формируют непреодолимые средовые барьеры. Ситуация усугубляется ограничениями, накладываемыми охранным статусом объектов

культурного наследия (ОКН), которые делают невозможным применение типовых стандартизированных решений.

Проведенный анализ российской нормативно-правовой базы выявил острый институциональный конфликт. С одной стороны, СП 59.13330.2020 предписывает жесткие параметры: максимальный уклон пандуса не более 5 %, минимальная ширина дверных проемов не менее 0,9 м, наличие лифтов. С другой стороны, Федеральный закон № 73-ФЗ в ст. 44 устанавливает принцип приоритета сохранения подлинности объекта и фактически запрещает любые изменения внешнего облика памятника без специального согласования, что делает установку стандартных железобетонных пандусов или пристройку лифтовых шахт к фасадам исторических зданий недопустимой [5, 6].

В зарубежных нормативно-правовых актах, таких как Американский акт об инвалидах и британский стандарт BS 8300, приводятся разделы, регламентирующие работу с объектами культурного наследия. Данные документы допускают обоснованные отступления, предписывая применение альтернативных решений, таких как мобильные подъемные платформы, складные пандусы, реконструкция с использованием исторических материалов. Зарубежная практика демонстрирует, что эффективное регулирование должно строиться не на запретах, а на механизмах поиска «разумного компромисса» между жестким нормативом и конкретной исторической ситуацией.

На основе проведенного анализа разработан комплекс мероприятий, дифференцированный по уровням среды обитания. На градостроительном уровне предусматривается формирование безбарьерных пешеходных маршрутов, локальное расширение тротуаров, понижение бордюров, устройство ровных нескользких покрытий, установка скамеек с подлокотниками через каждые 50–100 м. На уровне входной группы применяется дифференцированный подход: для объектов культурного наследия рекомендуются мобильные аппарели, наклонные подъемные платформы, поручни из прозрачных материалов; для фоновой застройки – стационарные пандусы из стекла или композитов; для всех объектов – контрастная маркировка ступеней, рычажные ручки, маркировка стеклянных дверей. На внутреннем уровне предлагается установка малогабаритных подъемников в домах 4–6 этажей, монтаж двухуровневых поручней, тактильных табличек, кнопок вызова на высоте 0,4–1,1 м, а при невозможности технической адаптации – организация службы ситуационной помощи. Информационное

обеспечение включает единую тактильно-визуальную навигацию, мнемосхемы, дублирование информации в звуковом формате [7-10].

Реализация комплекса мероприятий требует выстраивания организационно-управленческого механизма, включающего четыре взаимосвязанных элемента. Первым этапом является паспортизация доступности – комплексное обследование каждого здания, элемента благоустройства и участка пешеходной сети с целью выявления барьеров, оценки их характера и степени преодолимости. Результатом становится паспорт доступности, содержащий характеристику объекта, фотофиксацию барьеров, заключение об уровне доступности и перечень необходимых мероприятий. Паспортизация проводится по единой методике с участием представителей общественных организаций МГН. Сводные данные формируют реестр доступности, интегрируемый в городскую геоинформационную систему.

Вторым элементом является согласование проектных решений с органами охраны объектов культурного наследия (требуется разработка научно-проектной документации, обосновывающей обратимость и минимальное воздействие решений) и с общественными организациями инвалидов на всех этапах – от выбора приоритетных объектов до приемки выполненных работ. Представители МГН выступают полноправными участниками проектных и приемочных комиссий, поскольку только они могут дать объективную оценку того, устраняет ли предложенное решение реальный барьер или создает новый.

Третьим элементом является разработка «дорожной карты» – поэтапного плана реализации мероприятий с указанием сроков, ответственных исполнителей и источников финансирования. Финансирование носит многокомпонентный характер:

– бюджетные средства направляются на адаптацию общественных пространств;

– средства собственников – на работы внутри подъездов и входных групп;

– механизмы государственно-частного партнерства позволяют привлекать частных инвесторов;

– краудфандинг и спонсорская помощь используются как вспомогательные инструменты.

Для стимулирования собственников необходимы субсидии, налоговые льготы и включение работ по адаптации в программы капитального ремонта.

Четвертым элементом является система мониторинга с обратной связью от маломобильных пользователей. Инструментами служат:

– анкетирование жителей из числа МГН;

– «горячая линия» или чат-бот для сообщения о проблемах;

– регулярные рейды с участием общественных инспекторов;

– мобильные приложения с функцией геолокационной оценки доступности.

Выявленные недостатки учитываются при корректировке последующих этапов «дорожной карты», что превращает процесс адаптации из разового мероприятия в непрерывный, итеративный процесс.

Для оценки разрабатываемого комплекса мероприятий предлагается система критериев, разделенная на пять групп.

Функциональная эффективность отражает степень обеспечения реальной доступности: непрерывность безбарьерного маршрута, соответствие геометрических параметров нормативам, доступность ключевых объектов, возможность самостоятельного передвижения для различных категорий МГН.

Сохранность наследия отражает степень воздействия мероприятий на историческую среду: визуальное и физическое воздействие, обратимость решений, соответствие требованиям органов охраны ОКН.

Социальная приемлемость отражает отношение пользователей: удовлетворенность маломобильных граждан, учет мнения жителей, поддержка общественных организаций инвалидов.

Экономическая эффективность отражает соотношение затрат и социального эффекта: стоимость реализации и эксплуатации, срок службы решений, возможность привлечения внебюджетного финансирования.

Технологическая реализуемость отражает наличие необходимых технологий и компетенций: наличие материалов и оборудования на рынке, доступность технологий для российских подрядчиков, наличие подготовленных специалистов.

Предложенная система критериев позволяет проводить комплексную оценку разрабатываемых мероприятий, выявлять наиболее эффективные решения и обосновывать выбор конкретных технических решений с учетом специфики российских исторических городов. Для практического применения критериев предлагается использовать метод экспертных оценок с привлечением специалистов в области доступности, охраны наследия, строительства и представителей общественных организаций инвалидов.

Таким образом, формирование доступной среды в исторической жилой застройке невозможно на основе типовых нормативов из-за

институционального конфликта между требованиями СП 59.13330 и приоритетом сохранения подлинности объектов культурного наследия согласно Федеральному закону № 73-ФЗ. Разрешение этого противоречия предлагается через дифференцированный подход с использованием обратимых и малозаметных решений для ОКН и адаптированных стационарных конструкций для фоновой застройки, а также через внедрение организационно-управленческого механизма, включающего паспортизацию доступности, многокомпонентную дорожную карту, обязательное согласование с органами охраны наследия и общественными организациями инвалидов, а также систему мониторинга с обратной связью от маломобильных пользователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рябчевский, И. С. Концепция повышения качества услуг ЖКХ за счет внедрения инновационных технологий / И. С. Рябчевский // Международный студенческий строительный форум - 2018 (К 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова): сб. докл. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – Т. 2. – С. 204-208.

2. Айшпор М.М., Калмет Х.Ю. Формирование доступной среды для маломобильных групп населения в исторической застройке городов // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 45-52.

3. Конвенция ООН о правах инвалидов (принята резолюцией 61/106 Генеральной Ассамблеи ООН от 13.12.2006) // Собрание законодательства РФ. – 2013. – № 6. – Ст. 468.

4. Федеральный закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» (ред. от 28.04.2023).

5. СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. – М.: Стандартинформ, 2020. – 78 с.

6. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (ред. от 24.07.2023).

7. Погорелов, Р. В. Ремонтно-реставрационные и общестроительные работы на объекте культурного наследия / Р. В. Погорелов, И. С. Рябчевский // Молодежь и научно-технический прогресс: сб. докл. XII междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Губкин: ООО«Ассистент плюс», 2019. – Т. 1. – С. 372-374.

8. Рябчевский, И. С. Проблемы и перспективы развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации / И. С. Рябчевский // IX Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство". – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 1600-1603.

9. Рябчевский, И. С. Применение технологии BIM на всех этапах жизненного цикла строительных объектов / И. С. Рябчевский, И. С. Сулейманов, И. А. Чесноков // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова: сб. докл. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 6. – С. 271-277.

10. Марушко, М. В. Цифровизация на стадии технической эксплуатации многоквартирных жилых домов / М. В. Марушко, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 276-280.

УДК 666.76

Захарова М.И., Мехдиева Э.А.
Научный руководитель: Перетокина Н.А. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС И ТЕХНОЛОГИИ ШАМОТНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в российская экономика ставит перед нами ряд научно-технических задач, решение которых вынуждает кардинально снизить энергетические и тепловые потери, материалоемкость продукции, рационально и эффективно использовать все виды ресурсов.

Производство и рациональное использование эффективных высокотемпературных теплоизоляционных материалов (ВТИМ) позволяет снизить материалоемкость конструкций тепловых агрегатов, сократив массу печей в 9-11 раз, что приводит к уменьшению непроизводительных теплопотерь в окружающую среду и, следовательно, общий расход топлива в печах. Потребность в эффективных современных ВТИМ особенно возросла при развитии

ковшевой металлургии, переводе футеровки сталеразливочных ковшей на периклазоуглеродистые, а промежуточных — на основные огнеупоры, теплопроводность которых в 2—6 раз больше ранее применявшихся.

Все это обусловило расширение работ по созданию новых высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов.

Огнеупорные легковесные изделия – это формованные огнеупорные изделия общей пористостью более 45% с температурой применения от 800°С.

Алюмосиликатные легковесные изделия (шамотные и муллитовые) составляют наиболее важную и распространенную группу. Для их производства используют сырье на основе Al_2O_3 и SiO_2. Носителями оксида алюминия могут служить глина, каолин, огнеупорная глина, андалузит, кианит, муллит, глинозем, корунд.

В данной работе проведено исследование свойств огнеупорных легковесных материалов с использованием нанокремнезема [1, 2], полученных на основе алюмосиликатных составов.

На данный момент особое внимание уделяется к высокотемпературным материалам волокнистого строения, поскольку они обладают рядом ценных свойств: достаточно широкий диапазон плотности, низкая теплопроводность и гораздо большее сопротивление тепловому удару, чем плотная и ячеистая керамика.

Известно, что введение в хрупкие зернистые керамические материалы (матрицы) волокнистых материалов позволяет существенно увеличить термостойкость образующихся композиционных материалов. Наибольшее практическое значение для огнеупорной промышленности имеют волокна системы Al_2O_3- SiO_2 [3]. Обзорные публикации последних лет указывают на то, что введение коллоидного кремнезёма в состав алюмосиликатных огнеупоров открывает путь к управляемому изменению их теплотехнических и прочностных показателей [4].

Характерным свойством волокнистых материалов является их высокая прочность на растяжение. Модуль упругости волокнистых материалов слабо зависит или не зависит от диаметра волокна. Следовательно, предельное значение относительной деформации нитей значительно выше, чем у массивных образцов. Таким образом, деформативность и термостойкость волокон выше, чем массивных образцов. Применение таких огнеупоров не только способствует уменьшению потерь тепла, но и решает задачу снижения материалоемкости [5, 6].

Была рассмотрена возможность получения пенолегковеса армированного волокнами. Для этого использовалась каолиновая вата. В качестве отвердителя в некоторых составах используется высокоглиноземистый цемент. Температура обжига материала составляла 1350°С. Составы материалов представлены в таблице.

Таблица – Составы пеномасс

№ состава	Содержание компонентов в массе, % (масс)					
	Шамот	Ludox (марка)	Водотвердое отношение	Каолиновая вата	Цемент В/Г	ПАВ
5	97,0	3(TMA)	0,38	-	-	3
6	96,7	3(TMA)	0,38	0,3	-	3
7	96,55	3(TMA)	0,38	0,45	-	3
8	96,4	3(TMA)	0,38	0,6	-	3
9	96,85	3(TMA)	0,33	0,15	-	3
10	96,85	3(HS-30)	0,33	0,15	-	3
11	96,85	3(HS-40)	0,33	0,15	-	3
12	96,85	3(Sm-30)	0,33	0,15	-	3
13	85,85	10(TMA)	0,38	0,15	4	6
14	85,55	10(TMA)	0,38	0,45	4	6
15	86	10(TMA)	0,38	-	4	6

Плотность материалов с использованием каолиновой ваты варьировалась в пределах от 1,5 до 1,7 г/см^3 путем изменения водотвердого отношения, содержания ваты и ПАВ. При добавлении в состав материала каолиновой ваты, при прочих равных условиях плотность материала растет с 0,7 г/см^3 до 0,85-0,87 г/см^3. Водопоглощение для этих составов находится в пределах 71-73%, пористость – 64-66% возрастает с 3,7 до 10,0 МПа, дальнейшее увеличение содержания в массе ваты приводит к снижению прочностных показателей. По коэффициенту конструктивного качества полученные материалы относятся к эффективным и высокоэффективным (рис. 1).

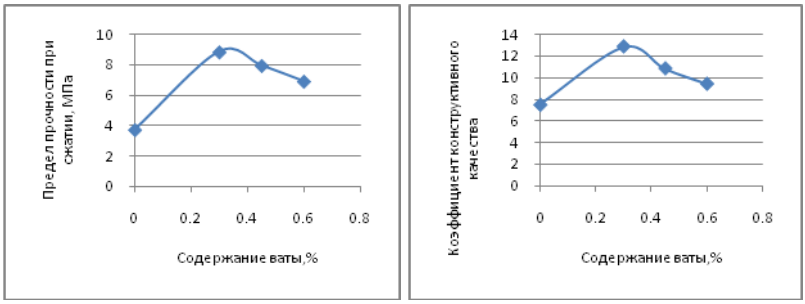


Рис. 1 Зависимость предела прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества от содержания каолиновой ваты.

При получении материала с плотностью 1,5-1,7 г/см^3 (составы 9-12) видно, что наименьшее водопоглощение и пористость у образцов, в составе которых использовалась добавка «Ludox TMA» (рис 2).

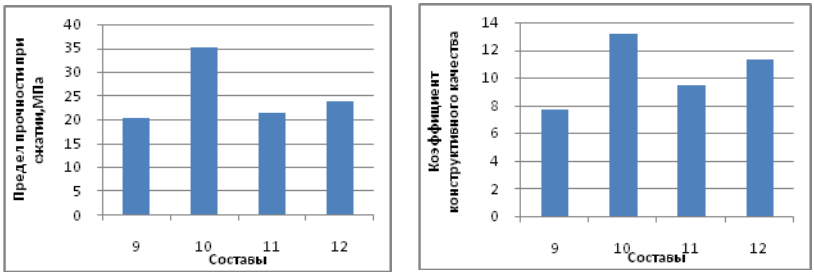


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии, коэффициента конструктивного качества от вида добавки «Ludox».($T_{обж}$=1350°С).

По значению коэффициента конструктивного качества пеноматериал составов 9 и 12 по существующей классификации можно отнести к высокоэффективным материалам.

Прочность пеноматериала с использованием в качестве армирующего волокна каолиновой ваты возрастает до 25-36 МПа в зависимости от вида добавки «Ludox». Однако возможность получения материала с маленькой плотностью затруднительна, так как использование ваты приводит к оседанию пены при ее смешивании с минеральной составляющей материала.

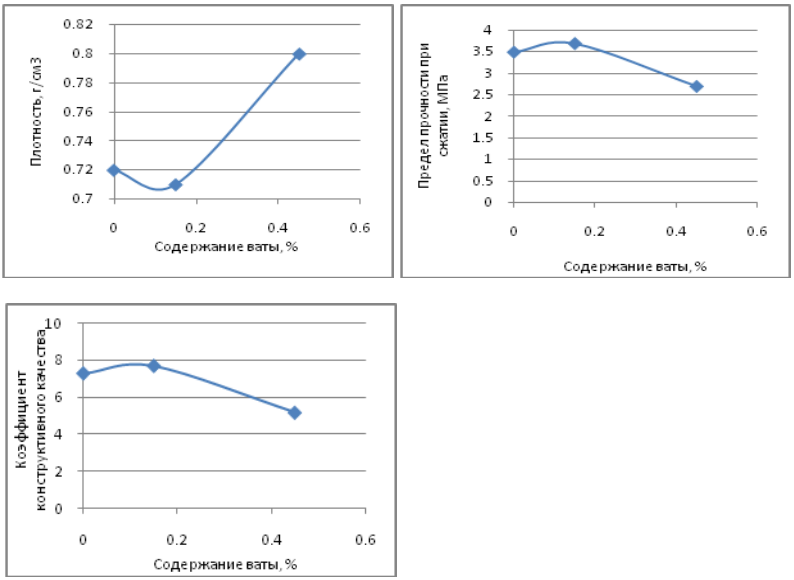


Рис. 3 Зависимость плотности, предела прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества от содержания ваты.

Поэтому в работе была рассмотрена возможность использования в качестве структурирующей добавки высокоглиноземистого цемента в количестве 4% (составы 13-15, табл.). Результаты исследования показали увеличение плотности, уменьшение предела прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества от содержания ваты (рис. 3).

Полученные результаты согласуются с известными данными о применении ультрадисперсных порошков в системе Al_2O_3–SiO_2 для футеровки сталеразливочных ковшей [7].

Таким образом, использование нанокремнезема торговой марки «Ludox» является весьма эффективным технологическим приемом для получения шамотного теплоизоляционного материала. Введение данных добавок обеспечивает увеличение прочности и коэффициента конструктивного качества в зависимости от плотности в 1,5 – 4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивинский Ю.Е. Нанодисперсный кремнезем и некоторые аспекты нанотехнологий в области силикатного материаловедения. Ч. 1 // Новые огнеупоры. - 2007. - № 11. - С. 44–55.

2. Патент RU 2530137 C2. Огнеупорная бетонная смесь и способ изготовления из нее бетона / Кузнецов Д.В. и др. - Опубл. 10.10.2014.

3. Горлов Ю. П., Еремин Н. Ф., Седунов Б. Н. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. - М.: Стройиздат, 1976. - 192 с.

4. Пивинский Ю.Е., Дякин П.В. Бесцементные огнеупорные бетоны: монография. - СПб.: Химиздат, 2023. - 238 с. - ISBN 978-5-93808-418-6.

5. Сандуца Т. М. Получение шамотных легковесных огнеупоров // Огнеупоры, 1992, - №7. - С. 22.

6. Соков В. Н. Системный анализ технологии безобжиговых шамотных легковесных изделий // Огнеупоры, 1998. - №4. - С. 4.

7. Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Дороганов Е.А., Пиленко А.В., Босых Р.В. Жаростойкие керамобетоны на основе диатомита. 1. Синтез и исследование искусственных керамических вяжущих на основе диатомита. Новые огнеупоры, 2023г. № 5 с. 106–110.

УДК 004.056.5:004.8

Зубарев М.И., Шевченко А.О.
Научный руководитель: Федотов Е.А., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА И ИЗОЛИРУЮЩЕГО ЛЕСА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ СЕТЕВЫХ АТАК НА ДАТАСЕТЕ CIC-IDS-2017

Современные системы обнаружения вторжений (Intrusion Detection Systems, IDS) являются неотъемлемой частью комплексной защиты информационных систем. Однако в условиях постоянного роста киберугроз, усложнения сетевых атак и увеличения объёмов передаваемого трафика традиционные сигнатурные методы обнаружения демонстрируют всё меньшую эффективность. Это связано с тем, что сигнатурные подходы ориентированы на заранее известные шаблоны атак и не способны выявлять ранее неизвестные (zero-day) уязвимости и полиморфные вредоносные программы, которые изменяют свою структуру при каждом новом заражении. Альтернативой сигнатурным методам выступают поведенческие методы, основанные на анализе статистических характеристик сетевого трафика и выявлении отклонений от нормального профиля сетевой активности. Такие подходы позволяют обнаруживать аномалии без

привязки к конкретным сигнатурам, что делает их более универсальными и адаптивными. Современные исследования в этой области активно используют алгоритмы машинного обучения: нейросетевые классификаторы, метод опорных векторов (SVM), случайные леса и другие. Несмотря на высокую точность, многие из этих методов обладают существенными недостатками — высокой вычислительной сложностью, требовательностью к ресурсам и значительным уровнем ложных срабатываний при работе с зашумлёнными данными. Особый интерес представляет применение ансамблевых алгоритмов машинного обучения, которые сочетают преимущества нескольких моделей и позволяют достичь более высокого качества обнаружения. Среди них выделяются изолирующий лес (Isolation Forest), эффективный для обнаружения выбросов без учителя, и градиентный бустинг (XGBoost), показывающий высокую точность в задачах многоклассовой классификации на табличных данных. Комбинирование этих алгоритмов в единую гибридную схему открывает возможность построения двухэтапной системы обнаружения: первый этап обеспечивает быструю первичную фильтрацию аномалий, а второй – их точную классификацию по типам атак. Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью разработки эффективных методов обнаружения сетевых аномалий, способных работать в условиях высоконагруженных сетей и противостоять современным киберугрозам, включая zero-day атаки и полиморфные вредоносные программы. Существующие решения либо обладают недостаточной точностью, либо требуют значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их практическое применение.

Таблица – Сравнительная характеристика методов обнаружения сетевых атак

Метод	Тип обучения	Преимущества
Сигнатурный анализ	На основе правил	Высокая скорость, точность для известных атак
SVM	С учителем	Высокая точность на малых выборках
Нейронные сети	С учителем	Выявление сложных нелинейных зависимостей

Проведённое исследование подтвердило перспективность гибридного подхода к обнаружению и классификации сетевых атак. Анализ существующих методов показал, что ни один из них в отдельности не обеспечивает одновременно высокую точность,

устойчивость к zero-day угрозам и низкий уровень ложных срабатываний. Методы обучения с учителем (SVM, нейронные сети, Random Forest, XGBoost) обеспечивают высокую точность, но их эффективность напрямую зависит от качества и объёма размеченных данных, а также от сбалансированности классов. Обучение без учителя (Isolation Forest) снимает проблему разметки и позволяет выявлять аномалии, не встречавшиеся ранее, однако не даёт ответа на вопрос о типе угрозы и не классифицирует её.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котенко И. В., Саенко И. Б. Обнаружение вторжений в компьютерные сети на основе интеллектуальных методов // Труды СПИИРАН. — 2013. — № 5 (28). — С. 47–66.

2. Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Полковников М.В. Технологии машинного обучения в сетевой безопасности (серия «Интеллектуальные технологии информационной безопасности»). – М.: Горячая линия-Телеком, 2021. – 359 с.

3. Федотов Е.А. Программа для реализации распределённых вычислений [Электронный ресурс] / Е.А. Федотов, В.С. Фахретдинов. — Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022662981,18.08.2022. — Заявка № 2022662025 от 10.08.2022. — URL: https://www.elibrary.ru

УДК 004.89.62

Иващенко И.А.
Научный руководитель: Коршак К.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Своевременное выявление отклонений в работе промышленного оборудования является ключевой задачей технического обслуживания. Традиционные подходы, основанные на жёстких пороговых значениях, плохо работают при изменении режима эксплуатации, что приводит либо к пропуску отказов, либо к массовым ложным срабатываниям [1, 2].

Целью работы является экспериментальная проверка гипотезы: использование адаптивного порога на основе скользящей медианы и медианного абсолютного отклонения (MAD) обеспечивает более высокое качество обнаружения аномалий по сравнению с классическим правилом «трёх сигм».

Пусть имеется временной ряд x_1, ..., x_n, содержащий аддитивную смесь трендовой, сезонной и шумовой компонент, а также ограниченное число аномальных наблюдений. Требуется построить решающее правило D(x_i) ∈ {0, 1}, которое максимизирует значение метрики F1 относительно истинной разметки аномалий.

Сравниваются два решающих правила:

— метод A — глобальный порог: x_i признаётся аномалией, если $|x_i - \mu| > 3\sigma$, где μ и σ — выборочные среднее и стандартное отклонение всего ряда;

— метод B — адаптивный порог: x_i признаётся аномалией, если $|x_i - m_i| > 3 \cdot 1{,}4826 \cdot MAD$, где m_i — скользящая медиана в окне шириной 25, MAD — медианное абсолютное отклонение остатков.

Для проверки гипотезы сформирован синтетический временной ряд длиной 400 наблюдений, включающий медленный синусоидальный тренд с периодом 60 отсчётов, гауссов шум с σ = 0,25 и 15 внедрённых аномалий с амплитудой от 1,2 до 2,0 у.е. Истинная разметка аномалий известна заранее.

Качество обнаружения оценивалось стандартными метриками бинарной классификации:

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (1)$$

$$Recall = TP / (TP + FN) \quad (2)$$

$$F1 = 2 \cdot Precision \cdot Recall / (Precision + Recall) \quad (3)$$

где TP, FP, FN — количество истинно положительных, ложно положительных и ложно отрицательных срабатываний соответственно. Эксперимент реализован на языке Python 3.11 с использованием библиотек NumPy и Matplotlib.

На рисунке 1 приведён фрагмент временного ряда с истинными аномалиями (красные точки) и ложными срабатываниями метода B (оранжевые крестики).



Рис. 1 Временной ряд с внедрёнными аномалиями

Метод А фиксирует аномалии только в крайних точках, соответствующих наибольшим выбросам. Метод В демонстрирует более равномерное обнаружение по всему ряду, включая области с высоким уровнем шума.

Количественные значения метрик приведены на рисунке 2.

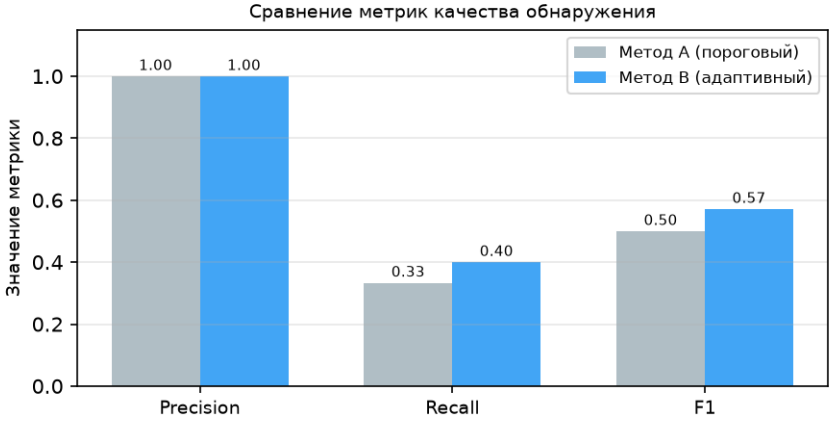


Рис. 2 Сравнение метрик качества обнаружения

Метод A показал Precision = 1.00, Recall = 0.33, F1 = 0.50. Метод B — Precision = 1.00, Recall = 0.40, F1 = 0.57. Наблюдается прирост метрики F1 за счёт повышения полноты обнаружения.

Полученный результат согласуется с теоретическими предпосылками: робастные оценки положения и масштаба (медиана и MAD) слабо чувствительны к самим выбросам, поэтому адаптивный порог корректно подстраивается под локальные изменения сигнала [3, 4].

Ограничением предложенного подхода является повышенная вычислительная сложность: расчёт скользящей медианы требует $O(n \cdot w \cdot \log w)$ операций, тогда как классический метод — $O(n)$. При потоковой обработке данных это ограничение может быть устранено применением специализированных структур данных [5].

Дальнейшее развитие работы предполагает переход от одномерного обнаружения к многомерному и использование нейросетевых автоэнкодеров для построения остатков [6].

1. Проведён сравнительный имитационный эксперимент по обнаружению аномалий двумя методами: с глобальным и адаптивным порогом.
2. Экспериментально подтверждено преимущество адаптивного подхода по метрике F1 за счёт роста полноты обнаружения при сохранении приемлемой точности.
3. Предложенный метод может быть рекомендован для предварительной фильтрации телеметрии перед подачей в более сложные модели предиктивной диагностики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чандрасекаран В., Элькин Ч. Обнаружение аномалий в промышленных системах : пер. с англ. – М. : Техносфера, 2021. – 384 с.
2. Иванов А.Б., Смирнов П.Г. Предиктивная диагностика оборудования : учеб. пособие. – СПб. : Лань, 2022. – 256 с.
3. Rousseeuw P.J., Croux C. Alternatives to the median absolute deviation // Journal of the American Statistical Association. – 1993. – Vol. 88, No. 424. – P. 1273–1283.
4. Huber P.J. Robust Statistics. – 2nd ed. – Hoboken : Wiley, 2009. – 354 p.
5. Aggarwal C.C. Outlier Analysis. – 2nd ed. – Cham : Springer, 2017. – 466 p.

6. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey // ACM Computing Surveys. – 2009. – Vol. 41, No. 3. – P. 1–58.

7. ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. – М. : Стандартинформ, 2013. – 24 с.

8. Синюк В.Г., Поляков В.М., Паиченко М.В. Алгоритмическое и программное обеспечение средств создания интеллектуальных проблемно-ориентированных систем, основанных на нечеткой логике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 3. – С. 159–163.

УДК 69:004.9

Исакова Н.А., Исакова В.А.
Научный руководитель: Пахомов В.Е., асс.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Современная архитектура характеризуется стремлением к максимальной естественной инсоляции и визуальной лёгкости зданий, что обуславливает широкое применение светопрозрачных конструкций в фасадном и кровельном остеклении. Однако увеличение площади остекления неизбежно ведёт к росту теплопотерь и нарушению микроклимата внутри помещений, особенно в условиях холодного периода года. Проблема заключается в необходимости поиска баланса между эстетическими требованиями, инсоляцией и строгими нормами энергоэффективности.

Цель исследования – провести сравнительную оценку энергоэффективности и теплозащитных свойств современных светопрозрачных конструкций Центрального федерального округа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: проанализировать приведённое сопротивление теплопередаче различных типов стеклопакетов, рассчитать удельные теплопотери через фасадные модули, выявить наиболее эффективные решения для климатических условий города Белгорода.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования рассматривались четыре типа современных светопрозрачных конструкций: однокамерный стеклопакет (24мм), двухкамерный стеклопакет с воздушной камерой

(32мм), двухкамерный стеклопакет с аргоном и низкоэмиссионным i-стеклом (40мм), а также инновационный вакуумный стеклопакет (8мм).

Сравнительный анализ проводился на основе расчёта приведённого сопротивления теплопередаче (R0) согласно методике СП 50.13330.2012 [1]. Моделирование тепловых потерь осуществлялось с использованием аналитических методов расчёта теплопередачи через ограждающие конструкции в программной среде Microsoft Excel и специализированном калькуляторе теплотехнического расчёта. Оценивались показатели теплопроводности, светопропускания и расчётные теплопотери для стандартного фасадного модуля площадью 100 $м^2$ в условиях расчётной зимней температуры города Белгорода (-24 ^oC) [2].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования были рассчитаны основные теплофизические характеристики рассматриваемых конструкций. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение теплофизических характеристик светопрозрачных конструкций.

Тип конструкции	Формула стеклопакета	Приведённое сопротивление теплопередаче R0, $м^2 * {}^oC/Вт$	Коэффициент пропускания солнечной радиации, %
Однокамерный	4М1-16-4М1	0,32	82
Двухкамерный (воздух)	4М1-10-4М1-10-4М1	0,48	76
Двухкамерный (аргон +i-стекло)	4М1-14Ar-4М1-14Ar-И4	0,78	68
Вакуумный	4М1-0,3V-4М1	1,05	79

Анализ данных таблицы 1 показывает, что применение вакуумного остекления обеспечивает наивысшее сопротивление теплопередаче (R0 = 1,5$м^{2*}$ ^oC/Вт), что более чем в 3 раза превышает показатели традиционного однокамерного стеклопакета. При этом вакуумные стеклопакеты сохраняют высокий коэффициент светопропускания (79%) благодаря минимальному расстоянию между стёклами (0,3мм) и отсутствию газового зазора, рассеивающего свет [3].

Однако, несмотря на выдающиеся теплофизические показатели, вакуумное остекление имеет высокую стоимость и ограниченные габариты, что сужает сферу его применения. Двухкамерные

стеклопакеты с аргоном и i-стеклом демонстрируют оптимальное соотношение теплозащиты (R0=0,78м^2 * ^{o}C/Вт) и стоимости, полностью соответствуя базовым требованиям СП 50.13330.2012 для жилых зданий в Центральной России [1].

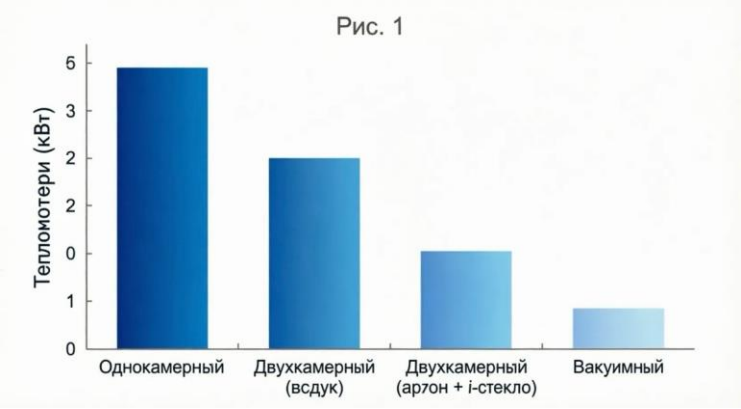


Рис.1 – Зависимость удельных теплопотерь фасадного модуля (100м^2) от типа светопрозрачной конструкции при температуре наружного воздуха -24^{o}C

На рисунке 1 наглядно продемонстрировано, что переход от стандартного двухкамерного стеклопакета к энергосберегающему с i-стеклом позволяет снизить теплопотери через остекление на 38%, а использование вакуумных технологий на 69% [4]. Это подтверждает, что для снижения эксплуатационных затрат на отопление критически важно применять многокамерные стеклопакеты с инертным газом и мягкими селективными покрытиями. При этом необходимо учитывать, что увеличение массы стеклопакета требует применения более мощной и износостойкой фурнитуры, что также влияет на конечную смету объекта [5].

1. Наивысшие показатели теплозащиты (R0=1,05м^2 * ^{o}C/Вт) демонстрируют вакуумные стеклопакеты, однако их высокая стоимость и технологические ограничения на размерность делают их применение целесообразными только в премиальном сегменте и специфических архитектурных проектах.

2. Оптимальным решением для массового желтщного строительства в условиях Центрального федерального округа являются двухкамерные стеклопакеты с аргоном и i-стеклом, обеспечивающие требуемое нормативами сопротивление теплопередаче (0,78м^2 * ^{o}C/Вт).

3. Применение однокамерных и стандартных двухкамерных стеклопакетов без селективных покрытий в жилых зданиях города Белгорода не удовлетворяет современные требования энергоэффективности и ведёт к перерасходу тепловой энергии на отопление.

4. Комплексное применение энергосберегающих светопрозрачных конструкций позволяет снизить удельные теплопотери через фасадные системы до 69% по сравнению с традиционными однокамерным остеклением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 50.1330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.- Москва: Минрегион России, 2012.
2. Справочник проектировщика. Климатология - https:climate.abok.ru.
3. Петров С.А. Инновационные методы остекления в современной архитектуре. Академия архитектуры и строительства. - 2024-№3.
4. Сидоров В.Н. Энергоэффективность ограждающих конструкций зданий. – Москва: АСВ, 2023.
5. Кузнецов Д.А. Особенности проектирования и монтажа современных фасадных систем. Строительные материалы. – 2025-№2

УДК 744.4

Казьмина В.В. Сураева А.К.
Научный руководитель: Кузнецова С.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСОБЕННОСТИ И ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ СЕЙСМОСТОЙКИХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Инженерная графика - главным инструмент донесения технических сведений в строительной отрасли. Соответствие чертежей установленным нормам, а также их исполнение и детализация, оказывают прямое воздействие на скорость реализации строительных проектов. Значимость данного аспекта возрастает многократно при строительстве в сейсмически опасных районах, где к прочности несущих конструкций предъявляются особо высокие требования.

Современное строительство во многом опирается на каркасные конструкции. Их несущая система включает в себя колонны, балки и фундаменты, которые соединяются в определённых узлах. Именно эти узловые соединения представляют собой наиболее критические элементы, особенно в условиях сейсмических нагрузок. Традиционные планы, фасады, разрез не всегда полностью раскрывают пространственную структуру сложных узлов: детали перекрывают друг друга, внутренние компоненты скрыты. Альтернативой является аксонометрическая проекция с разнесением элементов, делающая все детали узла доступными для изучения.

Основа любого сооружения - каркас, представляющий собой трехмерную систему несущих деталей, отвечающих за его надежность и стабильность. Главные компоненты: основания, опорные столбы, балки, а также усиливающие элементы. В зависимости от используемого материала, каркасы могут быть выполнены из железобетона, металла или дерева. По принципу распределения нагрузок они классифицируются на рамные, рамно-связевые и каркасы с системой вертикальных связей. [1]

В чертежах и проектной документации строительные конструкции демонстрируются посредством следующих типов изображений: Планы – это проекции здания на горизонтальные плоскости. Фасады – демонстрируют внешний вид здания с различных сторон. Разрезы – представляют собой сечения конструкции в вертикальной плоскости. Разработка проектной документации строительных объектов регулируется стандартами ГОСТ Р 21.101-2020 — «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации». Стандартные ортогональные проекции имеют недостаток: детали перекрывают дуг друга, требуется много дополнительных сечений. Для преодоления этого активно применяется аксонометрия. Этот тип изображения позволяет передать объем и пространственные взаимосвязи элементов конструкции, избегая их взаимного перекрытия. Различают изометрические, диметрические и триметрическую аксонометрические проекции, каждая из которых обладает своими особенностями и сферами применения. Аксонометрия ценна на ранних стадиях проектирования для общего понимания компоновки, а также для наглядной демонстрации заказчикам [3]

Важным аспектом в разработке проектной документации является детализация узлов, так как он их правильного проектирования и исполнения зависит общая надежность сооружения. На чертежах узлы изображаются в крупном масштабе, с подробным указанием всех

соединительных элементов: болтов, сварных швов, закладных деталей, анкеров. Точность простановки размеров и допусков в узлах является критически важной для последующего монтажа конструкций на площадке.

Кроме визуального представления, проектная документация включает в себя текстовую часть. Пояснительные записки содержат описание общих данных, назначение здания, требования к материалам, сведения о инженерных изысканиях, расчеты несущих конструкций, а также рекомендации по эксплуатации и техническому обслуживанию. Расчеты, основанные на положениях СП (Сводов Правил), играют ключевую роль в доказательстве надежности и безопасности проектируемых решений. [7]

Соблюдение единства и четкости условных обозначений, предусмотренных ГОСТ, является основой для правильного чтения чертежей. Единообразие в обозначениях позволяет избежать двусмысленности и ошибок при проектировании, экспертизе и строительстве, способствуя слаженной работе всех участников процесса. [2]

Таким образом, структурные схемы и их графическое отображение в проектной документации представляют собой комплексный набор информации, обеспечивающий надежность, безопасность и функциональность любого строительного объекта.

Сейсмические нагрузки динамичны и вызывают знакопеременные усилия в элементах конструкций. Основным документом, регламентирующим проектирование в сейсмических районах, является СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах». Данный свод правил устанавливает:

методику расчета нагрузок, коэффициент сейсмичности, требования к конструкциям, материалам и узлам, ограничения по этажности.

Расчёт сейсмических нагрузок производится на основе спектрального метода. Учитываются собственные частоты колебаний здания, его масса, форма колебаний, а также коэффициенты, зависящие от грунтовых условий и сейсмичности района.

Для особо важных зданий (объекты жизнеобеспечения, больницы, школы) применяются повышающие коэффициенты, а также выполняется расчёт на прогрессирующее обрушение. [4]

Для обеспечения устойчивости железобетонных каркасов в зонах с высокой сейсмической активностью используются следующие конструктивные решения:

- В местах соединения балок с колоннами увеличивается доля армирования. Секция узла оснащается дополнительными хомутами и отогнутыми стержнями с интервалом не более 100 мм.
- Колонны армируются замкнутыми хомутами по всей их высоте, особенно в зонах, где возможно формирование пластических шарниров.
- В зонах опирания балок применяются сварные сетки, выполняющие функцию косвенного армирования.
- Стык сборных элементов выполняется путем замоноличивания, при этом выпущенная арматура обеспечивает прочное сцепление.
- Предварительно напряженная арматура применяется исключительно в элементах, подверженных изгибающим нагрузкам, с обязательным контролем качества ее анкеровки.

Для сборных железобетонных каркасов предусмотрены особые виды узловых соединений:

- Стыки колонн и фундаментов стаканного типа отличаются увеличенной глубиной заделки.
- Соединения колонн между собой выполняются ванным способом сварки арматурных выпусков с последующим бетонированием.
- Шарнирные и жесткие соединения балок с колоннами осуществляются посредством сварки закладных деталей.

Металлические каркасы, спроектированные для сейсмоопасных регионов, характеризуются следующими особенностями:

- Использование высокопрочных сталей, обладающих устойчивостью к хрупкому разрушению.
- Укрепление узлов соединений с помощью накладок и ребер жесткости.
- Применение фланцевых соединений, монтируемых на высокопрочных болтах с заданным усилием затяжки.
- Использование сварных соединений, гарантирующих полное проплавление.
- Включение в конструкцию специальных демпфирующих элементов для поглощения энергии колебаний.

В металлических каркасах особое внимание уделяется узлам соединения балок с колоннами. Для этих целей применяются как жесткие (рамные) конструкции, так и шарнирные в сочетании с

вертикальными связями. Жесткие узлы усиливаются в зоне сопряжения дополнительными ребрами и накладками. [6]

Основные разновидности соединений в каркасных конструкциях включают:

1. **Соединения колонн с фундаментами:** стаканные фундаменты с глубиной заделки не менее 1.5 высоты сечения колонн; фундаменты с выступающей арматурой для соединения с арматурой колонн; болтовые соединения анкерного типа для стальных колонн с обязательным контролем момента затяжки.

2. **Соединения ригелей с колоннами:** жесткие рамные соединения с последующим замоноличиванием (для железобетонных конструкций); фланцевые соединения с использованием высокопрочных болтов (для металлических конструкций); узлы, усиленные вутами (утолщениями) в зоне контакта.

3. **Соединения элементов жесткости:** диагональные или портальные связи с усиленными местами их крепления.

Узлы сейсмостойких каркасов требуют особой детализации:

– обязательное выполнение узлов в крупном масштабе (1:10, 1:20);

– детальную прорисовку арматурных каркасов с указанием диаметров, шага и длины стержней;

–·показ всех закладных деталей и анкеров;

– указание классов прочности болтов и степени их затяжки;

– требования к сварным швам (катет, тип электродов, способ сварки);

– ·специальные указания по очерёдности монтажа и бетонирования.

Именно на этом этапе возникает потребность в применении разъёмных проекций, так как стандартные разрезы не позволяют одновременно показать все элементы усиления, арматурные выпуски, закладные детали и крепёж. Совмещение на одном чертеже нескольких ортогональных проекций и разрезов не даёт целостной картины, а разъёмная проекция позволяет представить узел как систему взаимодействующих элементов. [5]

Таким образом, специфика проектирования сейсмостойких каркасных зданий заключается в комплексе конструктивных, расчётных и графических мероприятий, направленных на обеспечение надёжности при экстремальных воздействиях. Узлы соединений являются ключевыми элементами, воспринимающими максимальные нагрузки, поэтому их графическое отображение должно быть максимально полным и наглядным

Каркасные здания требуют детальной проработки узлов. Сейсмостойкость усложняет проектирование. Разъединённые виды — эффективный метод визуализации сложных узлов, превосходящий традиционные разрезы по наглядности, несмотря на ограниченное применение в строительстве. Методика соблюдает масштаб, ориентацию, требует линий-связей и спецификации. Для более широкого внедрения необходимы нормативные документы и включение в образовательные программы. Разъединённые виды могут стать ценным дополнением к традиционным методам, особенно для ответственных узлов сейсмостойких зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2.305–2008. Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения. – Москва: Стандартинформ, 2008.

2. ГОСТ 21.501–2018. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений. – Москва: Стандартинформ, 2018.

3. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах: актуализированная редакция СНиП II-7-81* : дата введения 2019-06-17. – Москва : Минстрой России, 2018. – 126 с.

4. Короев, Ю. И. Начертательная геометрия: учебник для вузов / Ю. И. Короев. – Москва: Архитектура-С, 2015 – 425 с.

5. Левицкий, В. С. Машиностроительное черчение и автоматизация выполнения чертежей: учебник для вузов / В. С. Левицкий. – Москва: Юрайт, 2020- 435 с

6. Тихонов, В. А. Сейсмостойкость зданий и сооружений: учебное пособие / В. А. Тихонов. – Москва: МГСУ, 2017 – 196 с.

7. Есипов С.М., Мишенин О.В. Напряженно-деформированное состояние реконструируемых железобетонных элементов при изгибе с кручением в условиях динамической нагрузки !/ Вестник БПУ им В.Г. Шухова. 2026. № 1. С. 58-69. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-58-69

УДК 621.311.61

Кайдалов В.В.
Научный руководитель: Белоусов А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ НАКОПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время солнечные батареи являются одними из наиболее распространённых источников энергии для автономных систем электроснабжения [1]. По сравнению с традиционными источниками питания они обеспечивают энергонезависимость, более экологичны и имеют больший срок службы при меньших требованиях к техническому обслуживанию.

В процессе эксплуатации солнечных батарей наблюдается избыточная выработка электроэнергии в дневное время. Пик генерации приходится на светлое время суток, когда электроэнергия в таких объёмах не востребована. Следовательно, одной из основных проблем солнечных батарей является невозможность полезного использования избыточной энергии.

Для решения данной проблемы к солнечным батареям должны быть подключены аккумуляторы. Использование аккумуляторов позволяет сохранять избыточную энергию и впоследствии применять ее в моменты, когда солнечные батареи не вырабатывают энергию. Например, применение солнечных батарей с аккумуляторами в составе автономных систем уличного освещения позволяет обеспечить стабильное освещение улиц в вечернее и ночное время, что способствует снижению аварийности в тёмное время суток [2].

Целью данной работы является исследование способов накопления солнечной энергии и оценка эффективности их применения.

Для аккумулирования солнечной энергии в настоящее время применяют накопление в химической и электрической форме [3]. К электрохимическим системам относятся:

- свинцово-кислотные аккумуляторы;
- литий-ионные аккумуляторы;
- натрий-ионные аккумуляторы;
- проточные редокс-батареи.

Электрическая форма сохраняет энергию без промежуточного преобразования в другие виды, при этом электрическая энергия может запасаться в:

- суперконденсаторы;
- сверхпроводящие магнитные накопители.

Наиболее распространённым типом аккумуляторов для новых солнечных установок являются литий-ионные. [4]. Схема устройства литий-ионного аккумулятора цилиндрической формы представлена на рисунке 1.

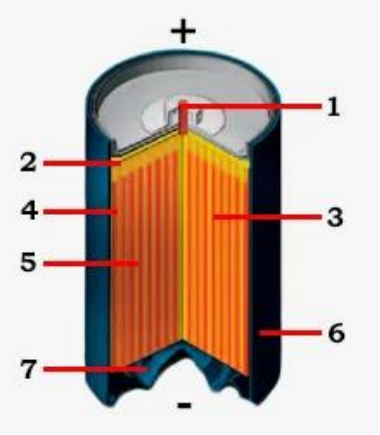


Рис.1 – Схема литий-ионного аккумулятора.
1 – вывод анода, 2 – литиевый анод, 3 – электролит, 4 – сепаратор,
5 – угольный катод, 6 – корпус, 7 – предохранительный клапан

Основным элементом данной системы является электродная сборка, состоящая из отрицательного электрода (анода) 2, изготовленного из графита, и положительного (катода) 5. Для разделения электродов и пропускания ионов служит сепаратор 4. Пространство между электронами заполнено электролитом 3. Для отвода тока к внешней цепи служит вывод анода 1. Корпус 6 защищает внутренние компоненты от внешней среды, а предохранительный клапан 7 сбрасывает избыточное давление при перегреве или коротком замыкании.

Литий-ионный аккумулятор осуществляет накопление и отдачу энергии преимущественно посредством обратимого перемещения ионов лития между электродами. Основной средой, благодаря которой происходит перенос заряда, является электролит, обладающий ионной

проводимостью. Следовательно, недостатком данной системы является снижение ёмкости в процессе эксплуатации. Основной причиной является потеря активного лития. В результате батарея теряет способность накапливать и отдавать энергию с прежней эффективностью.

Электрические системы аккумулирования энергии являются конструктивно более простыми по сравнению с электрохимическими [4]. Схема суперконденсатора приведена на рисунке 2.

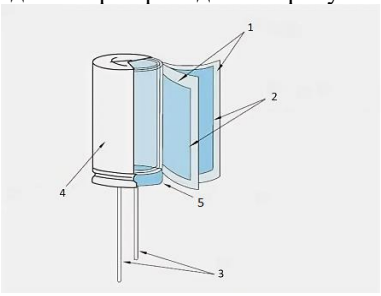


Рис.2 – Схема суперконденсатора
1 – сепаратор, 2 – электроды на основе активированного угля,
3 – вывода, 4 – алюминиевый корпус, 5 – резиновая втулка

Принцип действия данных устройств основан на образовании двойного электрического слоя на границе раздела электрода и электролита [5]. В основном в качестве электролита выступает органический раствор или ионная жидкость. По аналогии с аккумуляторами для повышения ёмкости применяются электроды из активированного угля с высокой удельной площадью поверхности.

Одним из основных преимуществ систем электрического аккумулирования перед электрохимическими является более высокая удельная мощность, достигающая 10000 Вт/кг, что в 10-25 раз больше удельной мощности аккумуляторных батарей (400-1000 Вт/кг). Следовательно, эффективность работы электрических систем значительно выше. Использование данных систем позволяет осуществлять накопление и отдачу энергии, обеспечивая высокий КПД и срок службы.

Аккумулирование солнечной энергии оказывает большое влияние на эффективность работы солнечных батарей. Оно должно обеспечивать сохранение избыточной энергии, вырабатываемой в дневное время, и её использование при недостатке солнечного света.

Выбор неправильного способа аккумулирования влечёт за собой снижение КПД системы и увеличение потерь энергии.

Эффективность электрохимических систем аккумулирования зависит от типа применяемых аккумуляторов и условий эксплуатации. Их применение возможно для длительного накопления энергии. Системы электрического аккумулирования позволяют обеспечить более высокую удельную мощность, так как в них используется двойной электрический слой. Данные системы позволяют обеспечить высоким КПД и сроком службы, превышающим 50000 циклов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы солнечной энергетики в России / О.В. Григораш, Е.В. Воробьев, О.Я. Ивановский, А.Э. Коломейцев // Сельский механизатор. – 2022. – № 1. – С. 30-31. – EDN BNITVD.

2. Местников, Н.П. Оценка особенностей эксплуатации систем освещения с фотоэлектрическими панелями в условиях Северо-Востока России / Н. П. Местников, Д. В. Лыткин, В. А. Герасимов // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 4. – С. 79-89. – DOI 10.34286/1995-4646-2022-85-4-79-89. – EDN TNOLFY.

3. Белоусов, А.В. Анализ структуры и разработка имитационной модели системы накопления электроэнергии на основе литий-ионных аккумуляторных батарей / А. В. Белоусов, Е. В. Жилин, Д. А. Прасол // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 11. – С. 57-63. – EDN WZSKUM.

4. Щеклеин, С.Е. Использование щелочных металлов в технологиях энергетического производства и хранения электрической энергии / С.Е. Щеклеин, А.М. Дубинин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2025. – № 1(151). – DOI 10.60797/IRJ.2025.151.96. – EDN WUIGUS.

5. Органические электролиты для суперконденсаторов с расширенной нижней границей температурного интервала эксплуатации / Р.Р. Галимзянов, Ф.С. Табаров, С.В. Стаханова [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35, № 8(243). – С. 47-49. – EDN BJXDZD.

УДК 67.02;621.926.5

Калашник И.А., Исса Ю.М., Хохлов Д.О., Науменко В.В.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТИПА ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Сухие строительные смеси позволяют выводить строительные технологии на качественно более высокий уровень – это культура производства, уменьшение потерь при производстве работ, высокое качество и декоративность покрытий.

Качество приготовления сухих строительных смесей на прямую зависит от смесительного оборудования. Для повышения эффективности производства и качества сухих строительных смесей возникает необходимость создания нового оборудования – смесителя высокой эффективности, надежности, с возможностью приготовления смеси повышенной однородности и сокращением времени на её приготовление. С этой целью на кафедре механического оборудования БГТУ им. В.Г. Шухова был разработан двухроторный турбулентный смеситель принудительного действия для приготовления сухих строительных смесей. В этой

Смеситель (рис. 1.) содержит корпус 1 с загрузочными патрубками 2 и 3 и разгрузочными отверстиями 4 и 5, оснащенные заслонками 6 и 7, которые приводятся в действие пневмоцилиндрами 8 и 9. Корпус 1, который состоит из двух правого и левого усеченных конусов, соединенных между собой в суженной части с помощью фланцев 10. Внутри корпуса 1 на валах 11 и 12 закреплены роторы с лопастями 13, 14. Для обеспечения интенсивного перемешивания компонентов смеси и их движения в осевом направлении лопасти установлены под углом $\beta = 55…60°$ к оси их вращения. Привод вращения валов осуществляется от электродвигателей 15 и 16 через ременные передачи 17 и 18. Управление работой смесителя осуществляют благодаря блоку управления 19.

Смеситель работает следующим образом.

Заранее отдозированные компоненты строительной смеси через загрузочные патрубки 2 и 3 подаются в корпус 1 и попадают в зону действия роторов с лопастями 13, 14. Благодаря вращению роторов в

противоположные стороны с разной частотой n_1 = 300 мин$^{-1}$, n_2 = 200 мин$^{-1}$, и углу установки лопастей β = 55…60°, частицы смеси интенсивно перемешиваются и приобретают значительные радиальные и аксиальные скорости, способствующие возникновению аксиального напора, который превышает сопротивление сил трения о стенки корпуса и силы тяжести. Под действием лопастей, вращающихся, смесь переводится во взвешенное состояние и направляется в осевом направлении к суженной части правого и левого конусов, одновременно приобретая вращательное движение. Поскольку частота вращения роторов в правой n_1 = 300 мин$^{-1}$ и левой n_2 = 200 мин$^{-1}$ частях корпуса отличается между собой, скорость движения частиц смеси и их траектории будут разными (рис. 2).

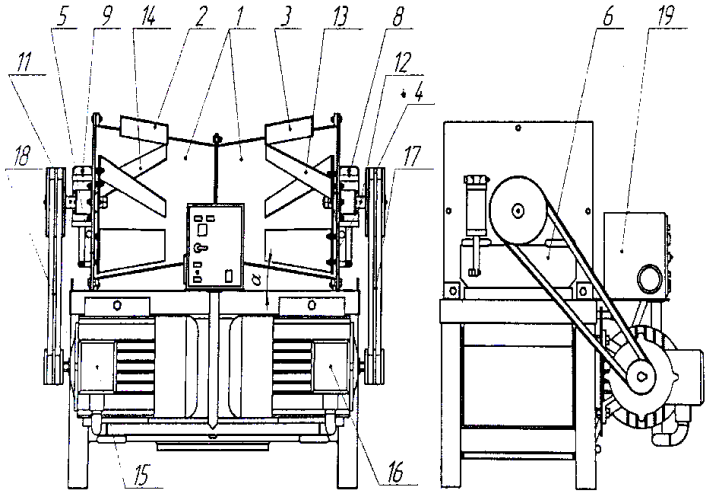


Рис. 1. Двухроторный турбулентный смеситель
1 – корпус; 2,3 – патрубок; 4,5 – разгрузочное отверстие; 6,7 – заслонка;
8,9 – пневмоцилиндр; 10 – фланец; 11,12 – вал; 13,14 – лопасти;
15,16 – электродвигатель; 17,18 – ременная передача;
19 – блок управления

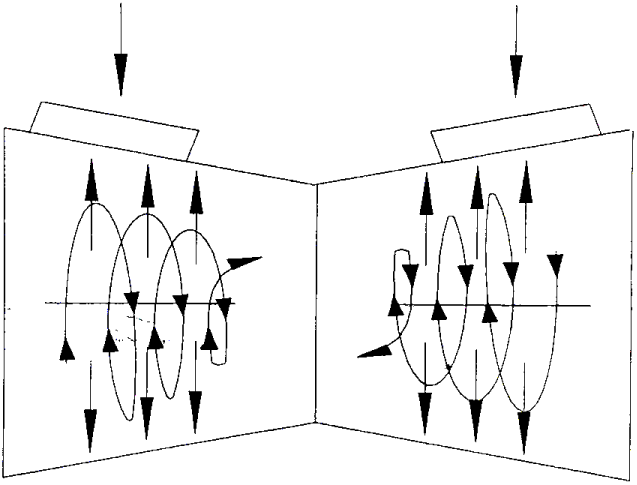


Рис. 2. Предполагаемая траектория движения частиц

Поэтому перемещаясь в суженной части корпуса два противоположно направленные потока проходят один вдоль второго и попадают в противоположно расположенные части корпуса. Окончательное перемешивание компонентов смеси происходит за счет многократного перемещения компонентов смеси с правой в левую часть корпуса и интенсивного перемещения частиц из одного
потока в другой, что ускоряет процесс перемешивания. Разгрузка готовой смеси происходит после открытия заслонок 6 и 7 благодаря силе притяжения, которая заставляет смесь двигаться вниз к разгрузочным отверстиям 4 и 5 расположенные в нижней части торцевых стенок корпуса смесителя, и благодаря углу $\alpha = 40°$, который превышает угол естественного откоса для многих из известных строительных смесей.

Предварительные экспериментальные исследования нового образца смесителя принудительного действия подтверждают эффективность использования таких машин в составе технологических комплексов для приготовления сухих строительных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багринцев, И.И. Смесительное оборудование для сыпучих и пастообразных материалов [Текст] / И.И. Багринцев, Л.М. Лебедева, В.Я. Филин // М.: Обзорная информация, 1986. – 35 с.
2. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие [Текст] / В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов – М: Издательство АСВ, 2003. – 96с.
3. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси: учебное пособие [Текст] / В.В. Козлов – М: Издательство АСВ, 2000. – 96 с.
4. Несмеянов Н.П. Качество и методы оценки сухих строительных смесей: межвузовский сборник статей [Текст] / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Чемеричко Г.И., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. – Белгород: 2024 – 182 с.
5. Несмеянов Н.П. Влияние скоростных параметров лопастных смесителей на качество строительных смесей: межвузовский сборник статей [Текст] / Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Чемеричко Г.И., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. – Белгород: 2024 – 186 с.

УДК 66.041.491

Карачевцева А. В., Анциферов С.И.
Научный руководитель: Фадин Ю. М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВИДЫ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНИХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

В промышленности строительных материалов широко применяются вращающиеся печи для получения цементного клинкера, извести, керамзита и других продуктов. Эффективность их работы в значительной степени определяется интенсивностью теплообмена между горячими газами и обрабатываемым материалом. Использование внешних теплообменных устройств позволяет существенно повысить тепловую эффективность агрегата за счет предварительного нагрева сырья отходящими газами.

Внешние теплообменные устройства – это аппараты, устанавливаемые перед вращающейся печью или снаружи ее корпуса и обеспечивающие нагрев сыпучего материала за счет тепла отходящих газов. Принцип их действия основан на противоточном или

перекрестном движении газов и материала, что обеспечивает высокую интенсивность теплопередачи при умеренном пылеуносе. Важной особенностью является приспособленность к обработке материалов с различной влажностью и дисперсностью [1-3].

Однако многообразие конструктивных решений затрудняет выбор оптимального типа теплообменного устройства для конкретных условий эксплуатации. При выборе необходимо учитывать физико-механические свойства материала (влажность, гранулометрический состав, абразивность), технологические параметры (температуру, запыленность газов) и конструктивные особенности вращающейся печи. Систематизация известных конструкций и анализ их отличительных признаков позволяют обоснованно подойти к выбору такого устройства.

Существуют различные конструкции вращающихся печей с внешними теплообменными устройствами.

Один из основных видов внешних теплообменных устройств – это циклонные теплообменники (Рис. 1), которые состоят из последовательно соединенных циклонных ступеней (от 1 до 4), через которые снизу-вверх проходят горячие газы. Материал подается в газоходы между ступенями, подхватывается потоком газа и выносится в циклон, где происходит сепарация – материал осаждается в бункер и через специальное устройство (мигалку) поступает в следующий газоход и окончательно в печь. Интенсивный теплообмен достигается благодаря большой поверхности контакта тонкодисперсного материала с газом, обеспечивая нагрев до 90–95 % от максимума [4].



Рис. 1. Вращающаяся печь с циклонным теплообменником

На рисунке 2 изображена вращающаяся печь с футерованным корпусом, установленным под наклоном. Снаружи корпуса на фланцах

закреплены внешние теплообменные устройства в виде перевернутой усеченной квадратной пирамиды из металла или керамики, имеющие разборное соединение [5].

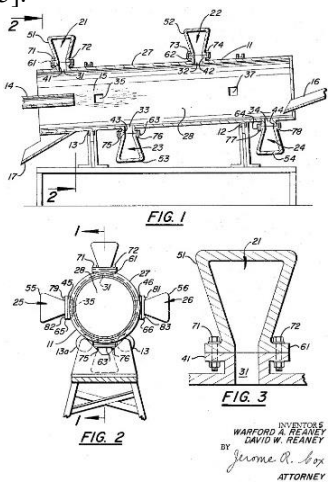


Рис. 2. Изобретение вращающейся печи с внешними теплообменными устройствами US №3271018A

На рисунке 3 изображен корпус печи, расположенный под наклоном, по периферии которого расположены теплообменные устройства в форме полого цилиндра, соединенного посредством параллелепипеда параллельно оси цилиндра теплообменного устройства и под наклоном относительно оси печи, которые приварены к корпусу. Эти элементы поднимают часть материала со дна печи, обеспечивая его перемешивание по всему диаметру корпуса [6].

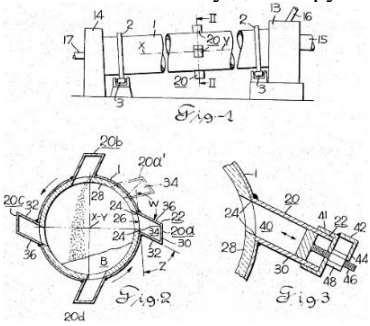


Рис. 3. Изобретение вращающейся печи с внешними теплообменными устройствами US №3782891A

На рисунке 4 изображена вращающаяся печь, состоящая из футерованного корпуса, снаружи которого установлены внешние теплообменные устройства, соединенные с его внутренней частью через отверстия. Теплообменные устройства выполнены цилиндрической формы и приварены к корпусу с помощью прямоугольных коробов, отфутерованных изнутри огнеупором и расположенных под углом к продольной оси вращения корпуса печи, и равномерно распределены по корпусу печи [7].

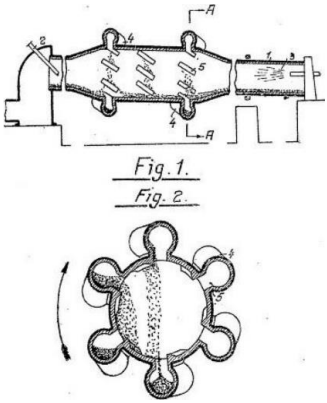


Рис. 4. Изобретение вращающейся печи с внешними теплообменными устройствами GB № 343513A

Эти патенты объединяет следующая совокупность признаков: корпус, внутренняя поверхность которого футерована огнеупорным кирпичом, а снаружи корпуса равномерно по периферии расположены внешние теплообменные устройства, соединенные с внутренней частью корпуса через выполненные в нем отверстия.

Проведенный обзор показывает, что внешние теплообменные устройства вращающихся печей представлены широким спектром конструктивных решений.

К основным недостаткам внешних теплообменных устройств относятся: сложность конструкции, дороговизна материалов, высокие затраты на обслуживание и частый ремонт, термические напряжения в корпусе, ведущие к деформациям и сокращению срока службы.

К основным достоинствам внешних теплообменных устройств относятся: рост производительности печи, экономия топлива (энергоэффективность), высокое качество клинкера, увеличение поверхности теплообмена без изменения габаритов печи, снижение

температуры уходящих газов, уменьшение удельного расхода топлива, улучшение экологических показателей производства [8].

Основными направлениями совершенствования внешних теплообменных устройств являются интенсификация теплообмена (за счет развития поверхности, турбулизации потока, увеличения времени контакта), повышение надежности (применение современных жаростойких материалов, защитных покрытий), снижение пылеуноса и аэродинамического сопротивления [9].

Выбор конкретного типа теплообменного устройства следует выполнять на основе технико-экономического анализа с учетом технологических параметров процесса и свойств обрабатываемого сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности. Л.: Стройиздат, 1968. 456 с.

2. Фролов, С.И. CFD-моделирование теплообменных процессов во вращающихся печах / С.И. Фролов, А.Н. Косачев // Вестник Белгородского государственного технологического университета. – 2021. – № 3. – С. 112–121.

3. Производство цемента. ИТС 6-2015: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям: утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. – Москва: Бюро НДТ, 2015. – 293 с.

4. Клюев, А. В. Современные технологии теплообмена в цементной промышленности / А. В. Клюев, С. В. Ткачев // Цемент и его применение. — 2023. — № 2. — С. 28–35.

5. Патент на изобретение US №3271018A, «Rotary calcining kiln» (Вращающаяся печь для обжига) опубл. 06.09.1966, классификация F27B7/20, страна Соединенные штаты. [Электронный ресурс] https://patents.google.com

6. Патент на изобретение US №3782891A, «External material lifters for rotary kilns and the like» (Внешние подъемники материалов для вращающихся печей и подобных устройств) опубл. 1.01.1974, классификация F27B7/14, страна Соединенные штаты. [Электронный ресурс] https://patents.google.com

7. Патент на изобретение GB № 343513A «Improvements in and relating to rotary kilns» (Усовершенствования в конструкции вращающихся печей и связанные с ними аспекты), опубл. 18.02.1931,

классификация F27B7/20, страна: Великобритания [Электронный ресурс] https://patents.google.com

8. Классен, П. В. Тепловые процессы и аппараты в технологии строительных материалов / П. В. Классен, И. Г. Гришаев, И. Н. Борисов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – 380 с.

9. Смирнов, В. Л. Автоматизация управления теплообменными устройствами вращающихся печей / В. Л. Смирнов, А. П. Кузнецов // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 5. – С. 34–39.

УДК 628.3

Карченков Т.Р.
Научный руководитель: Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИХ ОЧИСТКИ НА ПРИМЕРЕ АО «ГОТЭК»

Производство упаковочных материалов включает большое число технологических операций, после которых образуются отходы и производственные сточные воды. Для обеспечения качества печати регулярно промываются печатные барабаны, клише, трубопроводы, ёмкости и другое оборудование. В результате формируются стоки, содержащие пигменты, соли тяжёлых металлов, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и взвешенные частицы. Сложный и переменный состав таких вод ограничивает применение одного метода очистки [1].

АО «Готэк» расположен в г. Железногорске, основной вид экономической деятельности – производство гофрированной бумаги и картона, бумажной и картонной тары [2]. Сточные воды предприятия образуются главным образом при мойке печатного оборудования, трубопроводов, узлов приготовления красок и клеевых составов. Для них характерны колебания расхода и концентраций загрязнителей, поэтому для локальных очистных сооружений важны усреднение стока и способность технологии работать в переменном режиме.

В таблице приведены средние значения основных показателей сточной воды, использованные для анализа, подбора методов очистки и реагентов.

Таблица – Химический состав сточных вод АО «Готэк»

Показатель	Исходный сток	ПДК
pH, ед. pH	8,94 ± 0,20	6,5-9
Взвешенные вещества, мг/дм^3	38,5 ± 4,6	300
Сухой остаток, мг/дм^3	3511 ± 316	844,3
Аммоний-ион, мг/дм^3	7,6 ± 1,6	4,2
Фосфат-ионы, мг/дм^3	0,480 ± 0,087	0,41
ХПК, мгO_2/дм^3	1155 ± 103	-
БПКполн., мгO_2/дм^3	324 ± 42	107,1
Хлорид-ион, мг/дм^3	423 ± 38	163,3
Сульфат-ион, мг/дм^3	60,1 ± 9,0	92,6
Железо, мг/дм^3	1,93 ± 0,52	0,32
АПАВ, мг/дм^3	2 ± 0,76	10
Нефтепродукты, мг/дм^3	1,49 ± 0,36	1,41
Медь, мг/дм^3	0,9 ± 0,13	0,004
Цинк, мг/дм^3	0,054 ± 0,011	0,1
Стронций, мг/дм^3	0,096 ± 0,019	0,4
Свинец, мг/дм^3	0,156 ± 0,031	0,006
Марганец, мг/дм^3	0,57 ± 0,11	0,01

Наиболее значимыми для выбора технологии являются превышения по БПКполн., общему железу, меди, свинцу и марганцу [3]; фосфат-ионы также превышают приведённый норматив. При этом сухой остаток характеризует заметную минерализацию воды [4]. Также отношение ХПК/БПКполн. в среднем более 2,5, что указывает на наличие трудноокисляемой органической составляющей [5].

Методы очистки стоков классифицируются по природе лежащих в их основе процессов. Механическая очистка включает процеживание, отстаивание и фильтрование. Она эффективно удаляет грубые и дисперсные примеси, но не пригодна для ионов металлов и ПАВ [6].

Для осаждения металлов применяется корректировка pH. Если довести pH до значений, при которых Cu, Fe, Zn, Mn и Pb переходят в малорастворимые гидроксиды, то значительная часть металлов уйдёт в осадок [6]. Ограничением является возможное комплексообразование, из-за которого часть ионов может остаться в растворе даже при нужном pH.

Коагуляция и флокуляция укрупняют коллоидные и мелкодисперсные частицы, включая пигменты и гидроксидные хлопья. Для стока с красками и металлсодержащими осадками такой приём особенно полезен, так как облегчает последующее разделение фаз.

Флотация быстро поднимает сформировавшиеся агрегаты и позволяет непрерывно удалять шлам.

Адсорбция применима для глубокой доочистки от трудноокисляемых органических соединений, цветности и некоторых металлов. Однако использовать сорбцию как основную ступень для данного стока нерационально: сначала необходимо удалить основную массу взвешенных веществ и осадить металлы. Ионный обмен способен селективно удалять растворённые ионы, но его рабочая ёмкость зависит от конкурирующих катионов и минерализации воды.

Мембранные технологии способны удалять коллоиды, органические соединения и соли, однако требуют хорошо подготовленного исходного потока и чувствительны к загрязнению мембран [1]. Для рассматриваемого стока их рациональнее использовать как последующую стадию при необходимости глубокого обессоливания или повторного использования воды. Химическое окисление может рассматриваться для разрушения трудноокисляемой органики. Биологическая очистка пригодна для биоразлагаемой части органики, но при наличии тяжёлых металлов и переменного состава должна следовать после физико-химической предочистки.

Главная задача, которую должны обеспечивать реагенты – это разделение дисперсных фаз и осветление сточной воды. Поэтому можно выделить несколько вариантов, которые будут пригодны для очистки сточных вод АО «Готэк». Среди них: растворы $Ca(OH)_2$ и NaOH, коагулянт UltraPAC 30-V-2, $FeSO_4$, флокулянты Zetag 4125 и Zetag 8165, а также H_3PO_4. Такой набор позволяет сравнить разные механизмы воздействия на основные группы загрязнений исследуемого стока.

Гидроксид кальция $Ca(OH)_2$ – это широко распространённый и экономичный подщелачиватель. Повышение pH создаёт условия для осаждения тяжёлых металлов в виде гидроксидов. Образующиеся гидроксидные частицы дополнительно связывают часть взвеси, поэтому известь соответствует составу стока по металлам и дисперсным примесям.

Гидроксид натрия NaOH можно использовать как альтернативный подщелачиватель. Он обеспечивает быстрое и точное регулирование pH и не вносит дополнительные ионы кальция, является удобным для автоматического дозирования при переменном составе производственного стока.

UltraPAC 30-V-2 может быть использован как неорганический коагулянт. При гидролизе образуются алюминиевые гидроксильные соединения с развитой активной поверхностью, дестабилизирующие

коллоиды и образующие хлопья. Механизм его действия напрямую соответствует наличию в стоке пигментов, мелкодисперсных примесей и продуктов осаждения металлов.

Сульфат железа $FeSO_4$ рассмотрен как альтернативный коагулянт. В окислительных условиях и при гидролизе железо переходит в гидроксидные формы, которые сорбируют и соосаждают загрязнения. Его включение в испытания позволит сравнить алюминиевую и железную коагуляцию на реальном стоке.

Zetag 4125 – анионный флокулянт. Он работает после коагуляции: полимерные цепи связывают уже дестабилизированные частицы в более крупные агрегаты, которые быстрее отделяются от воды. Для интенсификации разделения твёрдой и жидкой фаз это стандартный вариант.

Zetag 8165 – катионный флокулянт. Положительно заряженные группы могут взаимодействовать с отрицательно заряженными коллоидами, поэтому он идёт как альтернатива анионному полимеру. Сравнение двух типов флокулянтов поможет выбрать полимер не по общим рекомендациям, а по фактическому поведению стока.

H_3PO_4 используется как альтернативный реагент химического осаждения. Фосфат-ионы образуют малорастворимые соединения с медью, цинком и свинцом, поэтому ортофосфорная кислота является механизмом связывания металлов, если гидроксидного осаждения окажется недостаточно.

В целом выбранный набор реагентов не сводится к одному универсальному варианту. Он позволяет проверить четыре подхода: подщелачивание и гидроксидное осаждение, коагуляцию дисперсных загрязнений, флокуляционное укрупнение хлопьев и фосфатное осаждение металлов.

Сопоставление таблицы с возможностями рассмотренных методов даёт понять, что одна стадия здесь не сработает. Сток содержит и взвесь, и коллоиды, и растворённые металлы, и органику, поэтому схему нужно строить как комбинированную физико-химическую цепочку. Сначала поток имеет смысл усреднить и снять крупную взвесь, чтобы защитить последующее оборудование и стабилизировать нагрузку. Далее корректировка pH и осаждение металлов. После этого коагуляция и флокуляция, укрупняющие остаточные коллоиды и гидроксидные хлопья. Завершать основной блок удобно флотацией: она отделяет сформировавшиеся агрегаты от воды и выводит шлам.

Если после этого остаются трудноокисляемая органика или цветность, то применяется доочистка. Фильтрация выступает как

барьерная стадия, а адсорбция как резервный приём, который подключают только для более глубокого снижения органики [7]. Мембранные и ионообменные методы для данного стока не стоит ставить в начало схемы: они требуют более подготовленной воды и обычно рассматриваются как стадии глубокой доочистки или повторного использования.

Состав сточных вод АО «Готэк» сочетает взвешенные, коллоидные, органические и неорганические загрязнения, включая соединения тяжёлых металлов. Анализ методов очистки и реагентов показывает, что наиболее подходящим вариантом для данного стока будет комбинирование механической подготовки, регулирования pH и химического осаждения, коагуляции, флокуляции и флотационного разделения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современные методы очистки сточных вод. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.msulab.ru (дата обращения: 20.09.2026).
2. Официальный сайт АО «ГОТЭК». [Электронный ресурс]. – URL: https://gotek.ru/ (дата обращения: 20.09.2026).
3. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – URL: https://normativ.kontur.ru (дата обращения: 20.09.2026).
4. Взвешенные вещества и сухой остаток в водах. [Электронный ресурс]. – URL: https://hydrochemistryinfo.fandom.com (дата обращения: 20.09.2026).
5. БПК и ХПК сточных вод: показатели, нормы и методы снижения. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vo-da.ru (дата обращения: 20.09.2026).
6. Вильсон, Елена Владимировна. Технологии водоподготовки и очистки сточных вод на промышленных предприятиях. Рекомендации к курсовому проектированию [Текст] : учебное пособие / Е. В. Вильсон ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ростовский гос. строит. ун-т". – Ростов-на-Дону : Ростовский гос. строит. ун-т, 2014. – 128 с. : ил. : 21 см.
7. Использование отхода производства гофротары для очистки сточных вод от красителя "метиленовый голубой" / Ж. А. Сапронова, С.

В. Свергузова, А. В. Святченко, Е. С. Иевлева // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 3. – С. 78-87. – EDN BIEDCG.

УДК 620.9

Климов А.Д., Седогин М.А.
Научный руководитель: Прасол Д.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ РЕГИОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Крайний Север и приравненные к нему территории занимают более 60% площади Российской Федерации. Эти регионы обладают большими объемами ресурсов, включая основные запасы нефти, газа, цветных и редкоземельных металлов [1]. При этом освоение этих ресурсов, а также устойчивое развитие регионов Крайнего Севера сдерживается из-за отсутствия надежного и эффективного энергоснабжения [2].

Основу энергоснабжения удалённых и изолированных районов Крайнего Севера составляют дизельные электростанции. При этом при отрицательных температурах химические свойства дизельного топлива значительно ухудшаются, что влечет за собой рост расхода топлива и падение коэффициент полезного действия (КПД) электростанций [3].

В настоящее время все большее распространение получают альтернативные источники электроэнергии. Целью данной работы является анализ возможностей применения альтернативных источников электроэнергии для районов Крайнего Севера, а также оценка их преимуществ и недостатков.

Одним из перспективных направлений применения альтернативной энергетики в регионах Крайнего Севера является ветроэнергетика. К преимуществам ветроэнергетики можно отнести высокий ветровой потенциал Крайнего Севера. На территориях высоких широт ветры обладают большой силой, а при низких температурах воздух большей плотностью, что положительно сказывается на выработке электроэнергии. Данные факторы повышают эффективность применения ветроэнергетики.

К недостаткам данных систем энергоснабжения относятся экстремальные климатические нагрузки, которые возникают в регионах Крайнего Севера. Например, обледенение лопастей значительно ухудшает аэродинамику и вызывает потери энергии, а при большой скорости ветра (выше 10 м/с) может произойти разрушение лопастей, что приведет к выходу установки из строя [4].

Другим альтернативным источником электроэнергии, который возможно применять в регионах Крайнего Севера является солнечная энергетика. Солнечные панели большую часть года эксплуатируются в условиях отрицательных температур, что позволяет предотвратить их перегрев и, следовательно, продлить срок их службы. Еще одним преимуществом применения солнечной энергетики на Крайнем Севере является наличие на земной поверхности большого количества снежного покрова, который обладает высокой отражательной способности, что способствует повышению КПД солнечных электростанций. Также применение солнечной энергетики позволяет снизить зависимость регионов от дизельного топлива, применение которого в удаленных районах может быть дорогостоящим.

Основным недостатком солнечных электростанций является их полная зависимость от силы солнечного света. В регионах Крайнего Севера, расположенных за полярным кругом, существуют природные явления полярного дня, когда Солнце не заходит за горизонт (длится около 2 месяцев), и полярной ночи, когда не поднимается над горизонтом (длится около 1-1,5 месяца). Следовательно, применение солнечной энергетики в условиях полярного дня является особо эффективным, а в условиях полярной ночи абсолютно неэффективным. Также применение солнечных электростанций требует дополнительную установку накопителей (аккумуляторов), которые позволят избежать потерь выработанной энергии [5].

Стандартные модули солнечных панелей в условиях сильных морозов (при температуре -40 °С и ниже) сжимаются под действием температурной деформации, что может привести к их выходу из строя. В условиях Крайнего Севера необходимо применение специальных морозостойких модулей, что повышает стоимость солнечных панелей и может сделать применение солнечной энергетики экономически невыгодным.

Еще одним вариантом применения альтернативной энергетики в регионах Крайнего Севера является использование приливных электростанций (ПЭС). Их принцип работы основан преобразовании в электричество энергии приливов и отливов. Арктический регион

характеризуется огромной протяженностью береговой зоны, имеющей сложные очертания, что позволяет осуществлять установку приливных станций в местах, где будет достигаться их максимальная эффективность работы. Так как приливы и отливы связана с гравитационным взаимодействием между Землей, Луной и Солнцем, то к преимуществам приливных электростанций можно отнести высокую предсказуемость и гарантированность циклов выработки энергии, которая полностью независима от погодных условий и времени года.

Существенным недостатком приливных электростанций является высокая стоимость их строительства из-за необходимости сооружения плотин. Кроме того, создание крупных плотин приводит к изменению гидрологического режима и заиления прибрежных зон, что наносит вред окружающей среде и может привести к нарушению путей миграции ценных пород арктической фауны [6]. Еще одним недостатком приливных электростанций является несовпадение пиков лунных приливов с графиками суточного энергопотребления. Для решения данной проблемы применяют накопители энергии или производят интеграцию ПЭС в централизованную энергосистему, что повышает сложность их эксплуатации.

В регионах Крайнего Севера расположены значительные запасы геотермального тепла. Следовательно, еще одним возможным направлением альтернативной энергетики в данных регионах является геотермальная энергетика. К преимуществам геотермальной энергетики относится ее независимость от погодных условий и времени суток. Применение геотермальных установок позволит обеспечить стабильное круглосуточное производство электроэнергии. Еще одним достоинством геотермальной энергетики является возможность производства тепла, которое впоследствии применяется для отопления, что снижает нагрузку на теплоэнергоцентрали и котельные [7].

К недостаткам геотермальной энергетики на Крайнем Севере относится ограниченная географическая доступность геотермальных источников. Наиболее эффективные источники сосредоточены в зонах активного вулканизма, которые располагаются на Камчатке и Курильских островах. При этом в других регионах Крайнего Севера потенциал геотермальных источников либо недостаточно изучен, либо источники располагаются на территориях, приоритетных для нефтегазовой добычи, что делает их освоение менее целесообразным.

Наиболее перспективным направлением альтернативной энергетики в России на данный момент является использование водородной энергетики [8]. Водород обладает очень высокой удельной

теплотой сгорания и высоким коэффициентом теплоотдачи, что дает его оптимальным безуглеродным энергоносителем для межсезонного аккумулирования энергии. Производство водорода возможно осуществлять методом электролиза воды в периоды избыточной генерации ветроэлектростанций или атомных электростанций. Это позволяет значительно снизить зависимость энергосистемы Крайнего Севера от дизельного топлива. Кроме того, водородные топливные элементы демонстрируют стабильную работоспособность при сверхнизких температурах, превосходя по этому показателю стандартные химические аккумуляторы.

Основным недостатком водородных технологий относятся повышенная взрывоопасность и пожароопасность водорода. Это значительно усложняет процессы его производства, использования, хранения и транспортировки. Несмотря на возможность производства водорода, в регионах Крайнего Севера необходимо применение оборудования арктического исполнения, стоимость которого значительно превышает стандартное исполнение. При этом стоимость систем хранения водорода под высоким давлением арктического исполнения также выше. Это снижает общий КПД технологической цепочки производства водорода с его последующим использованием, что повышает себестоимость применения водородной энергетики.

Приведенные направления альтернативной энергетики в регионах Крайнего Севера имеют как преимущества, так и недостатки. Ветроэнергетика обладает высоким ветровым потенциалом, при этом эффективность работы ветроэлектростанций снижается при экстремальных климатических нагрузках арктических регионов. Солнечная энергетика эффективна в условиях полярного дня, однако абсолютно неэффективна в полярную ночь, а также требует применения накопителей энергии. Приливные электростанции обеспечивают стабильную выработку электроэнергии, при этом их строительство является дорогостоящим и связано с экологическими рисками. Геотермальная энергетика также дает стабильную круглосуточную генерацию и тепло, но наиболее эффективна в зонах активного вулканизма, расположенных на Камчатке и Курилах. Водородная энергетика характеризуется высокой теплотой сгорания и возможностью межсезонного аккумулирования, но связана с взрывоопасностью и высокой стоимостью оборудования.

Применение альтернативных источников должно учитывать климатические, географические и экономические ограничений регионов Крайнего Севера. Дальнейшие исследования и комплексный

учет условий эксплуатации способны повысить надёжность и эффективность энергоснабжения регионов Крайнего Севера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров, Н.Е. Сравнительная оценка инновационного развития регионов Крайнего Севера / Н.Е. Егоров, Г.С. Ковров // Арктика и Север. – 2020. – № 41. – С. 62-74. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2020.41.62. – EDN YHNHKM.

2. Ганага, С.В. О перспективах и проблемах бестопливного энергоснабжения Крайнего Севера России на базе ветроэнергетических установок / С.В. Ганага, А.А. Гамова, В.Г. Николаев // Энергетик. – 2024. – № 11. – С. 3-16. – DOI 10.71527/EP.EN.2024.11.001. – EDN FNWQMW.

3. Баркунов, А.О. Энергоснабжение изолированных энергосистем районов крайнего севера и Арктики / А.О. Баркунов, А.В. Никитин // Вестник науки. – 2025. – Т. 3, № 7(88). – С. 544-551. – EDN OOBRUL.

4. Экспериментальные исследования влияния обледенения на кинематику потоков и силовые параметры лопастей ветрогенераторов методами лазерной доплеровской анемометрии / В.Г. Меледин, И.К. Кабардин, С.В. Двойнишников [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 255-264. – EDN PZNQWB.

5. Белоусов, А.В. Анализ структуры и разработка имитационной модели системы накопления электроэнергии на основе литий-ионных аккумуляторных батарей / А. В. Белоусов, Е. В. Жилин, Д. А. Прасол // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 11. – С. 57-63. – EDN WZSKUM.

6. Техническая реализация проекта Северной приливной электростанции в Баренцевом море / А.М. Бакштанин, А.П. Крылов, Т.И. Матвеева, Э.С. Беглярова // Природообустройство. – 2020. – № 5. – С. 59-67. – DOI 10.26897/1997-6011/2020-5-59-67. – EDN FGIGOD.

7. Исследование эффективности использования геотермальной теплонасосной установки в климатических условиях российских регионов / П.А. Трубаев, Ю.А. Кошлич, А.В. Белоусов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 3. – С. 49-67. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-10-3-49-67. – EDN CGCLWP.

8. Краев, В. М. Перспективы водородной энергетики в России / В. М. Краев // Московский экономический журнал. – 2021. – № 10. – DOI 10.24411/2413-046X-2021-10602. – EDN UJTSEJ.

УДК 614.8.084

Кривошеева М.А., Брагин В.А.
Научный руководитель: Степанова М. Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА

В условия роста числа и масштабов природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на первый план выходит задача перехода от реактивного управления к проактивному. Статистика МЧС России за 2018-2022 годы показывает, что только от паводков в среднем страдает 2 598 человека, а материальный ущерб (в ценах 2022 года) при максимуме 8 147 млн рублей. Эти цифры убедительно демонстрируют острую необходимость внедрения цифровых технологий, способных повысить точность прогнозов и сократить время принятия управленческих решений. Существующие методы прогнозирования часто не учитывают каскадные эффекты и взаимосвязи между различными системами. Информационная нагрузка на центры управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) требует автоматизации анализа больших данных и внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Предложение по синергетическому использованию указанных методов для количественной оценки рисков и оптимизации управленческих решений в условия неопределенности, включая учет каскадных эффектов и климатических изменений.

Применение методов (нейросетевых технологий) машинного обучения для обработки больших массивов метеорологических и гидрологических данных становится ключевым направлением цифровой трансформации МЧС России. Ведомство последовательно реализует курс на внедрение систем анализа больших данных и разработку моделей прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Практический пример-пилотный проект в Республике Татарстан. МТС совместно с ГУ МЧС России по Республике Татарстан реализовали систему проактивного управления экологическими рисками (ПО СПУЭР) в Кайбицком районе. На четырех модулях на реке Бирля установлены высокотехнологичные датчики, которые измеряют

уровень воды, направление ветра, атмосферное давление, температуру воздуха и почвы, количество осадков- каждые 10 минут. Аналитическая платформа с использование искусственного интеллекта обрабатывает поступающие данные, строит прогноз гидрометеорологической обстановки и выводит информацию для диспетчера. При достижении критического уровня воды система автоматически выдает предупреждение. Этот подход позволяет заблаговременно прогнозировать риски, не затрачивая ресурсы на объезд территории, а накапливаемая статистика становится основной для дальнейшего моделирования.

Байесовские классификаторы для прогнозирования пожаров и наводнений. В рамках создания аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» разработаны прогнозно-аналитические модели (ПАМ), в математическую основу которых положены байесовские методы. Их эффективность напрямую зависит от качества и достоверности входных данных. Для прогнозирования лесных пожаров вероятностной оценке подлежат следующие параметры: скорость верхового пожара, площадь и скорость низового пожара. Расчет основных показателей распространения низовых пожаров выполняется по модели Ротермела, которая основана на пропорциональности скорости распространения пламени отношению теплоты горения к теплоте нагрева новых порций горючего материала до температуры воспламенения.

Для моделирования наводнений вследствие паводков (ПАМ-НВ) формируется обширное обучающее множество, включающее: данные о наводнениях, параметры участков рек и их водосборов, характеристики водохозяйственных систем, сведения о населенных пунктах в зонах затопления, гидрологическую и метеорологическую обстановку, данные о ландшафте и типах почв. Наиболее значимыми являются расчетные гидроморфологические параметры в паводкоопасный период. При недостатке гидрометрических наблюдений применяется приведение к многолетнему периоду по рекам-аналогам, а при полном отсутствии-расчет по формулам с использованием карт.

По данным МЧС России, на основе статистики термических точек и прогноза Росгидромета с использованием искусственного интеллекта строятся зоны с высокой вероятностью возникновения пожаров на неделю вперед. Это позволяет заблаговременно перераспределять силы и средства.

Дальневосточные исследователи из ДВФУ, ДВО РАН и Сбера разработали уникальную модель детекции тропических циклонов на

основе нейросети, использующую спутниковые снимки для выявления зародившихся циклонов, диагностики их мощности и отслеживания траектории. Система прошла успешную апробацию в Приморском отделении МЧС России и продемонстрировала высокую эффективность. В настоящее время ведется работа над прогнозированием поведения циклонов на три дня вперед. Разработанные алгоритмы могут быть адаптированы для арктических штормов, что особенно важно для северного морского пути.

Математическое моделирование позволяет не только прогнозировать возникновение ЧС, но и оценивать их последствия, включая эффект «домино»-цепные реакции, когда нарушение в одной системе вызывает сбои в других. Анализ межотраслевых балансовых моделей («затраты-выпуск») позволяет оценить как прямые, так и косвенные экономические потери. Например, разрушение ЛЭП во время урагана может вызвать остановку производств, отключение систем жизнеобеспечения, что в свою очередь приводит к социальному кризису. Сетевые динамические модели применяются для описания взаимовлияния рисков в мегаполисах.

ВНИИ ГОСЧ разработана трехуровневая методология оценки климатических рисков для объектов МЧС России: выявление опасных климатических факторов для объекта воздействия, его подверженности этим факторам и уязвимость к ним; формирование ранжированного перечня адаптационных мероприятий; формирование отраслевого плана адаптации с целевыми показателями. Эта методология является фундаментом для построения прогнозных моделей. Коэффициент катастрофичности (КК) для различных типов ЧС природного характера, рассчитанный на основе данных МЧС за 2010-2019 годы, позволяет ранжировать угрозы: опасные гидрологические явления (КК=1,5), сильные дожди и снегопады (КК=1,5), бури и ураганы (КК=1,1) являются наиболее опасными. Градации источников рисков для оползней и наводнений по интенсивности, распространенности, продолжительности и уровню опасности дают количественные критерии для решения.

Одним из ключевых направлений цифровой трансформации МЧС является разработка инструментов поддержки принятия управленческих решений. Это особенно актуально для ЦУКС, где диспетчеры обрабатывают большие объемы текстовой и числовой информации (время, адрес, характеристики объекта) с места ЧС. Задачи автоматизации: сокращение времени реагирования за счет автоматического анализа поступающих сообщений и исключения

дублирования данных; визуализация обстановки на интерактивных картах с нанесением зон поражения, мест расположения сил и средств, путей эвакуации; расчет потребности в силах и средствах на основе прогнозных моделей.

Эффективность работы ЦУКС определяется не только техническим оснащением, но и качеством управления командой. Когнитивное моделирование применяется для анализа процессов управления командами ЦУКС с позиции стейкхолдерского подхода. Учитывается влияние различных сторон: руководство ЦУКС, оперативный штаб, экспертное сообщество, население. Методы снижения «выгораемости» команд в условиях стресса и высокой ответственности также входят в круг исследовательских задач, так как от психоэмоционального состояния специалистов зависит качество принимаемых решений.

По данных МЧС, при ЧС природного характера в среднем привлекается от 63 до 478 человек личного состава и от 20 до 113 техники в зависимости от типа явления. Анализ этих данных позволяет оптимизировать штатное расписание и графики дежурств.

Система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций (СКМ ЧС) МЧС России является ключевым элементом оперативного информирования органов управления. СКМ ЧС включает 7 наземных станций приема и обработки космической информации: 4 собственные (Москва, Вологда, Красноярск, Владивосток) и 3 совместные с Роскосмосом (Мурманск, Дудинка, Анадырь). Строительство станции в Анадыре завершено в 2025 году, что позволяет контролировать Арктическую зону РФ. В 2024 году завершена модернизация всех станций МЧС России: теперь они дополнительно принимают данные с космических аппаратов дружественных стран в инфракрасном диапазоне. В работе используются ГИС «Каскад» (аппаратно-программный комплекс прикладного ПО) и «Космоплан» для оперативного доведения данных до региональных органов. Приемный комплекс «УниСкан-24» обеспечивает техническую основу приема данных. Задачи космического мониторинга: оценка обстановки при паводках-выявление зон затопления по данным оптической и радиолокационной съемки; мониторинг природных пожаров-фиксация термических аномалий (термоточек) низкодетальными спутниками с последующей проверкой операторами ЕДДС; поиск аварийных объектов, разливы нефтепродуктов. В случае активации Международной Хартии по космосу и крупным катастрофам МЧС России получает данные от стран-участниц на безвозмездной основе.

Ключевой приоритет- развитие отечественной орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ и организация международного взаимодействия, в том числе с дружественными странами БРИКС СНГ.

Оценка климатических рисков- системная процедура, включающая выявление опасных факторов, оценку подверженности и уязвимости объектов к этим фактором. Для всесторонней оценки устойчивости стран, регионов и городов применяется подход ИНФОРМ-индекс управления риском, основанный на трех направлениях оценки: опасность, уязвимость, потенциал противодействия. Эта методология активно используется в отечественных разработках ВНИИ ГОЧС.

Приказ Минэкономразвития №927 утвердил Методические рекомендации по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков. При этом максимальные значения ущерба значительно выше: при паводках до 8 147 млн рублей, при засухе до 31 343 млн рублей. Эти данные служат основой для планирования резервных фондов и страховых резервов.

В рамках разработки ПАМ для «Безопасного города» одним из направлений является создание моделей, позволяющих прогнозировать подобные сценарии. На основе этих моделей могут разрабатываться мероприятия по снижению рисков: локализация опасных объектов вне зон возможного затопления, проектирование защитных сооружений с учетом климатических изменений, создание резервных систем энергоснабжения и управления.

Разработан план адаптации к изменениям климата для объектов системы МЧС России, включающий три этапа: оценка климатических рисков, формирование ранжированного перечня мероприятий, установление целевых показателей достижения целей адаптации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.М., Горбунов С.В. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуациях как составная часть системы управления рисками ЧС// Проблемы анализа рисками. – 2018. – Т.15, №6. – С.8-16.

2. Акимов В.А. Моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера // 21 век. Техносферная безопасность. - 2024. -Т.9, №1 (33). – С. 76-88.

3. Куркин А.А. Моделирование экономических рисков мегаполисов // Вестник Университета Правительства Москвы. – 2025. №3. – С. 10-19.

4. Латкин М.А., Степанова М.Н. Этапы моделирования чрезвычайных ситуаций// Символ науки. – 2016. -№1. – 139-142с.

УДК 621.941

Крупенко Ф.А., Шевердин А.А.
Научный руководитель: Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ КАК ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

Ступенчатые валы – одни из самых распространённых деталей в машиностроении. Они передают крутящий момент в редукторах, коробках передач, насосах и других механизмах. От точности изготовления вала во многом зависит работа всего изделия: шум, вибрации, долговечность подшипников и зубчатых передач [1].

На современных предприятиях ступенчатые валы обрабатывают на токарных станках с ЧПУ. Такое оборудование обеспечивает высокую производительность и стабильное качество. Однако точность обработки зависит не только от самого станка. На неё влияют приводы подач, шарико-винтовые передачи, датчики положения, режимы резания и жёсткость технологической системы [2].

Повышение точности — это не только техническая задача. Точность напрямую связана с эффективностью конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Чем выше достижимая точность, тем меньше припуски, тем реже нужны подналадки станка и тем ниже риск брака. В итоге снижается трудоёмкость и себестоимость изготовления детали [3].

Цель работы – систематизировать факторы, влияющие на точность обработки ступенчатых валов на станках с ЧПУ, и показать, как повышение точности отражается на эффективности КТПП.

Типовой ступенчатый вал состоит из нескольких ступеней разного диаметра. На рисунке (Рис.1) показана конструкция вала-шестерни, которая часто встречается в одноступенчатых редукторах.

К опорным шейкам предъявляют самые высокие требования. Они должны быть выполнены по 7-му квалитету с шероховатостью Ra = 1,25 мкм. Допуск круглости и цилиндричности — в пределах 0,5 допуска на диаметр [1].

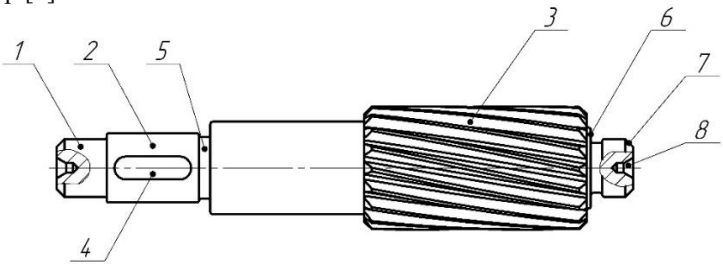


Рис.1 Конструктивно-технологическая характеристика ступенчатого вала:
1 – посадочная шейка под подшипник; 2 – посадочная шейка под зубчатое колесо; 3 – зубчатый венец; 4 – шпоночный паз; 5 – канавка для выхода инструмента; 6 – заплечик; 7 – фаска; 8 – центровое отверстие

Такие требования не случайны. Подшипники качения очень чувствительны к погрешностям формы и расположения шеек. Даже небольшое биение приводит к росту вибраций и снижению срока службы подшипника.

Точность обработки на станке с ЧПУ формируется под действием множества факторов. Их удобно разделить на четыре группы: оборудование, приводы и управление, система СПИД, технология.

Станок — это основа технологической системы. Его геометрические погрешности напрямую переносятся на обрабатываемую поверхность. К ним относятся:

- не параллельность оси шпинделя направляющим;
- биение шпинделя;
- погрешности перемещения суппорта.

Эти погрешности нормируются стандартами. Например, радиальное биение шпинделя токарного станка нормальной точности не должно превышать 10…15 мкм [1].

Отдельно стоит сказать о шарико-винтовых передачах (ШВП). Они преобразуют вращение привода в линейное перемещение суппорта. Погрешность шага ШВП и её накопленная погрешность по длине винта напрямую влияют на точность осевых размеров вала [2]. Для уменьшения этого влияния применяют ШВП с преднатягом и компенсацию погрешности в системе ЧПУ.

Приводы подач станка с ЧПУ — это шаговые или серводвигатели. Их точность определяет, насколько точно суппорт выйдет в заданную точку.

Согласно ГОСТ 370, точность позиционирования оценивают по результатам многократных выходов в одну и ту же точку. Различают одностороннее и двустороннее позиционирование [2].

При обработке криволинейных контуров важна точность интерполяции. Система ЧПУ рассчитывает промежуточные точки траектории между опорными точками кадра. Для линейной интерполяции используется метод оценочной функции [2]. Чем выше точность интерполяции, тем ближе реальный контур к заданному.

Система СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь) — это центральное понятие технологии машиностроения. Под действием сил резания все элементы системы деформируются. Возникают упругие отжатия, которые искажают размер и форму детали [1, с. 128].

Основные составляющие погрешности системы СПИД:

Δу — упругие отжатия под действием сил резания;

Δи — размерный износ инструмента;

е — погрешность установки заготовки;

Δн — погрешность настройки станка;

Δф — геометрические неточности станка.

Эти составляющие суммируются по определённому закону. Структура суммарной погрешности показана на рисунке (Рис. 2).

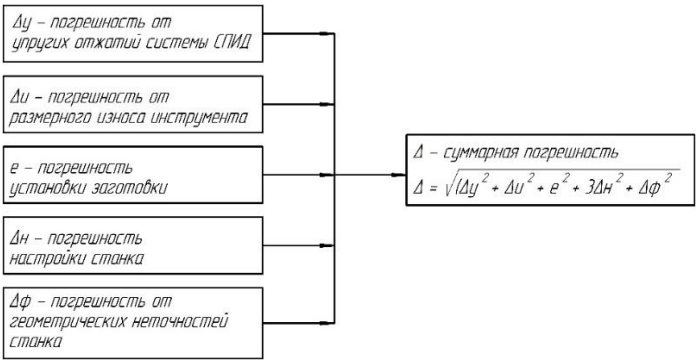


Рис.2 Структура суммарной погрешности механической обработки

Суммарная погрешность обработки рассчитывается по формуле (1) [3]:

$$\Delta = \sqrt{((\Delta y^2 + \Delta и^2 + e^2 + 3\Delta н^2 + \Delta ф^2))} \quad (1)$$

где Δу — погрешность от упругих отжатий; Δи — погрешность от размерного износа инструмента; е — погрешность установки; Δн — погрешность настройки; Δф — погрешность от геометрических неточностей станка.

Условие обеспечения точности:

$$\mathbf{\Delta \leq Td} \quad (2)$$

где Td — допуск на выполняемый размер.

Если суммарная погрешность превышает допуск, появляется брак. Если она близка к допуску, растёт риск брака при малейших колебаниях условий обработки. Значит, приходится чаще подналаживать станок, увеличивать припуски, снижать режимы резания. Всё это снижает эффективность КТПП.

К технологическим факторам относятся режимы резания, припуски и схема базирования.

Режимы резания влияют на силы резания и температуру в зоне обработки. Чем больше подача и глубина резания, тем больше силы и упругие отжатия. Поэтому на чистовых операциях режимы назначают более мягкими [1].

Припуски должны быть оптимальными. Заниженный припуск не позволяет удалить дефектный слой. Завышенный — увеличивает силы резания и расход материала. Расчётно-аналитический метод позволяет назначить припуск с учётом конкретных условий обработки [3].

Базирование заготовки — ключевой вопрос. Для валов типовой схемой является установка в центрах. Центровые отверстия служат искусственной технологической базой. Такая схема обеспечивает высокую точность и позволяет обрабатывать большинство поверхностей с одного установа [1].

Пути повышения точности можно разделить на три группы.

Через оборудование. Выбор станка повышенной точности. Применение ШВП с преднатягом. Использование линейных датчиков перемещения вместо круговых. Термостабилизация наиболее ответственных узлов [2].

Через управление. Коррекция траектории в системе ЧПУ. Адаптивное управление, при котором режимы резания меняются в зависимости от текущих условий. Применение систем активного контроля [2].

Через технологию. Рациональное базирование заготовки. Оптимизация режимов резания. Уменьшение радиальной составляющей силы резания за счёт геометрии резца. Учёт размерного

износа инструмента и ограничение партии деталей между подналадками [3].

Наибольший эффект даёт комплексный подход, когда мероприятия проводятся одновременно по всем трём направлениям.

Точность механической обработки ступенчатых валов на станках с ЧПУ формируется под действием многих факторов. Основные из них — геометрические погрешности станка, погрешности ШВП и приводов, упругие отжатия системы СПИД, размерный износ инструмента и погрешность установки.

Все эти факторы можно объединить в одну формулу суммарной погрешности. Условие обеспечения точности — непревышение суммарной погрешностью допуска на выполняемый размер.

Повышение точности обработки — это фактор эффективности КТПП. Оно позволяет сократить припуски, уменьшить число подналадок, снизить риск брака и повысить стойкость инструмента. В конечном счёте это ведёт к снижению трудоёмкости и себестоимости изготовления детали.

Дальнейшая работа в рамках магистерской диссертации будет направлена на разработку конкретных мероприятий по повышению точности обработки вала-шестерни на станке с ЧПУ с оценкой их влияния на эффективность КТПП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев Л.В., Шрубченко И.В., Погонин А.А. и др. Технология машиностроения: учебник. — М.: Изд-во Академия, 2006. — 528 с.

2. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Схиртладзе А.Г. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства и программная обработка: учеб. пособие. — Старый Оскол: ТНТ, 2017. — 248 с.

3. Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Воронкова М.Н. Разработка высокоэффективных технологических процессов: учеб. пособие. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. — 84 с.

4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 1985. — 656 с.

5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.

УДК 624.046

Крутикова М.А.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ ФЕРМ ПУТЕМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕЙ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ

Мостовые стержневые фермы относятся к категории несущих конструкций, повреждение которых может привести к серьезным социально-экономическим и экологическим последствиям. В течение последних десятилетий на мостовые стержневые фермы воздействуют все более интенсивные внешние факторы, не предусмотренные исходными проектными решениями, такие как увеличение объемов перевозок и плотности транспортного потока, климатические сдвиги, а также возможные техногенные чрезвычайные ситуации [1]. Многие из эксплуатируемых сегодня мостовых сооружений были спроектированы и построены при более низких нормативных требованиях к несущей способности и сопротивляемости нагрузкам. Данное несоответствие между заложенными в проекте резервами и фактическими условиями эксплуатации способствует ускоренному износу конструкций и увеличивает угрозу возникновения аварийных состояний [2].

Оценка живучести строительных стержневых конструкций – это способность системы сохранять несущую способность и не переходить в механизм при повреждениях, которые не предусмотрены проектом [3]. Особую актуальность этот вопрос приобретает при анализе мостовых ферм, где отказ одного элемента может инициировать каскадное (прогрессирующее) разрушение всей системы.

В соответствии с действующими нормативными документами расчет по предельным состояниям позволяет отслеживать состояние конструкции вплоть до потери ее несущей способности. Однако данный метод не подходит для оценки живучести строительных стержневых конструкций в условиях локальных разрушений или непредусмотренных запроектных воздействий. Поскольку метод предельных состояний не дает возможности анализировать процесс деформирования и разрушения конструкций в запредельных состояниях, что ограничивает их применение для оценки живучести. [4].

Перспективным решением для повышения живучести стержневых систем выступает перераспределение материала между отдельными элементами без увеличения общей массы конструкции. Суть подхода состоит в целенаправленном усилении наиболее нагруженных и потенциально критических элементов конструкции при параллельном уменьшении сечений менее нагруженных стержней, например, стоек и раскосов. Такая оптимизация позволяет более эффективно задействовать имеющийся материал, обеспечивая при этом снижение рисков прогрессирующего разрушения [5].

Целью данного расчета является оценка эффективности перераспределения материала между элементами мостовой стержневой фермы для повышения ее живучести при запроектных воздействиях.

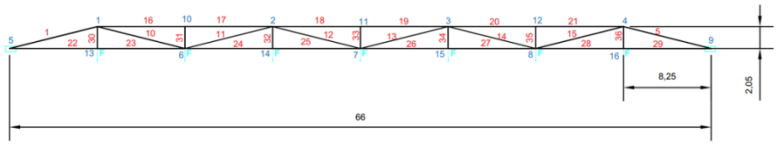


Рис. 1. Схема мостовой стержневой фермы

На рис. 1 приведена расчетная схема, которая представляет собой мостовую стержневую ферму длиной 66 м. Геометрические параметры стержней соответствуют коробчатому сечению 140×120×5 мм. В расчетной схеме нагрузка передается через нижние узлы и складывается из постоянной (вес конструкции) и временной (подвижной) составляющих. Для оценки работы фермы приняты три варианта сочетания нагрузок:

– вариант 1: учтен только собственный вес сооружения;

– вариант 2: собственный вес и нагрузка от грузового поезда массой 9000 т;

– вариант 3: собственный вес и суммарное воздействие пассажирского (1155 т) и грузового (4939 т) поездов.

Был выполнен расчет живучести мостовой фермы, результаты указаны в табл. 1. Живучесть всей системы составила P=0,809205, что свидетельствует о наличии определенного запаса, но не гарантирует безопасности при запроектных воздействиях [6].

Таблица 1 - Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №25 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,053407	0,053407	0,049688	0,049688
Живучесть элемента (P_{si})	0,946593	0,946593	0,950312	0,950312
Живучесть всей системы (P_s)	0,809205			

Для моделирования запроектного воздействия принято разрушение левого узла №13 фермы, сопровождающееся нарушением геометрии нижнего пояса в панелях 5–6, повреждением поперечной балки, а также сквозными повреждениями левой и правой подвесок [7].

Выполнен повторно расчет живучести фермы после повреждения. Результаты показали катастрофическое снижение параметра живучести (табл. 2), что фактически означает неминуемое лавинообразное разрушение данной конструкции.

Таблица 2 - Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы	Элемент №27 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,861684	0,86167	0,861484	0,86145
Живучесть элемента (P_{si})	0,138316	0,138330	0,138516	0,138550
Живучесть всей системы (P_s)	0,000367			

Для повышения живучести выполнено перераспределение материала между элементами фермы без изменения общей массы конструкции. В рамках оптимизации поперечные сечения верхнего и нижнего поясов были увеличены, тогда как сечения стоек и раскосов уменьшены до размера 80×40×5 мм. Такой подход основан на том, что пояса воспринимают наибольшие усилия и являются критическими элементами с точки зрения живучести системы, в то время как стойки и раскосы менее нагружены и обладают избыточным запасом прочности [8].

После перераспределения материала и при сохранении сценария разрушения узла №13 выполнен повторный расчет оценки живучести мостовой фермы (табл. 3).

Таблица 3 - Расчетные значения живучести фермы

Характеристики	Элемент №18 (стержень) фермы	Элемент №19 (стержень) фермы	Элемент №26 (стержень) фермы	Элемент №27 (стержень) фермы
Вероятность отказа (P_{fi})	0,01711	0,016996	0,011771	0,011699
Живучесть элемента (P_{si})	0,982890	0,983004	0,988229	0,988301
Живучесть всей системы (P_s)	0,943641			

В результате принятых мер живучесть конструктивной системы существенно повысилась с 0,000367 до 0,943641.

Таким образом, мостовая ферма перешла из аварийного состояния, при котором разрушение было практически неизбежным, в режим безопасной эксплуатации даже при наличии запроектного повреждения.

Помимо мостовых ферм, метод перераспределения материала может быть эффективно реализован в расчетах и проектировании других типов стержневых и балочных систем. Внедрение предложенного подхода в инженерную практику позволит повысить уровень безопасности сооружений и снизить риск катастрофических последствий при запроектных воздействиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых И. Р., Чернышева Е. В., Дегтярь А. Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 32-39. DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39.

2. Гениев Г.А. О принципе эквиградиентности и применении его к оптимизационным задачам устойчивости стержневых систем // Строительная механика и расчет сооружений. 1979. № 6. С. 8–13.

3. Тамразян А. Г. Живучесть как степень работоспособности конструкций при повреждении // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 22–28.

4. Крутикова М. А., Дегтярь А.Н. Анализ живучести стержневой фермы при запроектных воздействиях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2026. № 7. С. 41-48. DOI 10.34031/2071-7318-2026-11-7-41-48.

5. Крутикова М. А., Серых В.Д. Оценка живучести мостовых стержневых конструкций на основе анализа различных групп предельных состояний // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 28–29 мая 2026 года. Часть 2. Инженерно-технические науки Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2026. С. 276-281.

6. Быкова Н. М., Баранов Т. М., Забияка А. А. Повышение «живучести» железнодорожного моста с повреждением элемента фермы // Транспортные сооружения. 2024. Т. 11. № 1.

7. Шульга С. Н. Методика оценки живучести и определение остаточного ресурса подкраново-подстропильных ферм с трещиноподобными дефектами // Наука и безопасность. 2014. № 4(13). С. 2-32.

8. Кузнецова В. С. Живучесть большепролетной фермы с нисходящим опорным раскосом // Дни студенческой науки: Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института промышленного и гражданского строительства, Москва, 27 февраля 2023 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. С. 275-277.

УДК 72.01

Крухмалёва Е.В., Нагайцева М.А.
Научный руководитель: Чеботарёва Е.Э., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЦИРКУЛЯРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ

Архитектурные здания, как правило, представляют собой статичные системы, параметры которых задаются на этапе разработки и остаются неизменными в течение всего срока их эксплуатации. Возникает высокая зависимость зданий от инженерных систем отопления, вентиляции, кондиционирования и искусственного

освещения, компенсирующих несоответствие между постоянными характеристиками ограждающих конструкций и динамичной внешней средой [1]. Природные экосистемы устроены иначе: они функционируют как замкнутые циклы, где метаболиты одного процесса служат ресурсом для другого, а устойчивость обеспечивается механизмами саморегуляции и самовосстановления. Циркулярное проектирование использует данный принцип в архитектурной практике, определяя в качестве целевых параметров увеличение срока службы строительных элементов, их восстановление и снижение потребления ресурсов [2].

Биомиметика исследует механизмы функционирования живых систем и служит теоретической основой для их применения в строительстве. В отличие от биофильного дизайна, ориентированного на перцептивное взаимодействие человека со средой, биомиметика предполагает функциональное использование принципов живой природы в инженерных системах [3].

В работе систематизируются биомиметические принципы формирования адаптивных фасадов, рассматриваются соответствующие природные прототипы, инженерные решения и их эксплуатационные ограничения в контексте устойчивой архитектуры.

Биомиметика в архитектуре не сводится к копированию природной формы. Её содержательная ценность заключается в использовании функциональных механизмов живых систем: регулирования теплового и светового режима, защиты от внешних воздействий, поддержания целостности и восстановления структуры. Именно эти принципы, а не внешнее подобие, представляют интерес при проектировании адаптивных фасадов [4].

В архитектурной оболочке принципы адаптации, защиты и самоочищения проявляются в регулировании светопропускания, теплообмена и воздухообмена, использовании многослойных защитных систем и снижении загрязнения поверхности. Их применение позволяет поддерживать микроклимат здания и уменьшать эксплуатационные затраты [1, 2].

Лист растения служит прототипом адаптивной мембраны, регулирующей газообмен, световое воздействие и тепловой баланс. Его устьица изменяют степень раскрытия в зависимости от освещённости, температуры и влажности. Этот принцип переносится в кинетические фасады с подвижными панелями, регулирующими светопропускание, вентиляцию и защиту от перегрева (Рис.1).

Чешуя рыб и покровы рептилий демонстрируют принцип модульного наложения, сочетающий защиту, гибкость и терморегуляцию. В архитектуре ему соответствуют фасады из перекрывающихся независимых панелей, создающих воздушную прослойку, регулируемое затенение и возможность локальной замены повреждённых элементов [6, 9] (Рис.2).

Эффект лотоса основан на супергидрофобной структуре поверхности, при которой капли воды удаляют загрязнения. В фасадных покрытиях этот принцип реализуется созданием самоочищающегося слоя, способного уменьшать загрязнение и замедлять деградацию материала [3, 5] (Рис.3).

Адаптивный фасад реагирует на изменения солнечного излучения, температуры и воздухообмена, регулируя светопропускание, теплопоступление и естественную вентиляцию. Модульная многослойная оболочка позволяет заменять изношенные элементы без демонтажа всей конструкции, что повышает её ремонтопригодность и соответствует принципам циркулярного проектирования. [7].



Рис. 1. Адаптивный фасад здания Kiefer Technic Showroom, Австрия

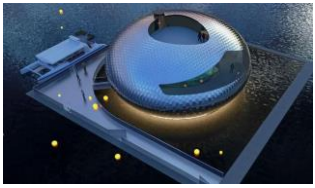


Рис. 2. Фасад центра Salmon Eye с перекрывающимися панелями, Норвегия



Рис. 3. Самоочищающаяся фасадная оболочка Большого национального театра, Китай

Адаптивные фасады подразделяются на активные и пассивные. Активные системы используют приводы или электрохромные элементы для точного управления светопропусканием, но требуют энергопитания. Пассивные системы реагируют на среду за счёт свойств материала; например, термохромные покрытия на основе диоксида ванадия изменяют инфракрасное пропускание при повышении температуры. Их применение ограничивается необходимостью оптимизации температуры срабатывания, видимого светопропускания и солнечной модуляции.

Динамические фасады могут использовать зональное управление: отдельные участки оболочки по-разному реагируют на солнечное воздействие, сочетая затенение, светопропускание и выработку энергии. Такой принцип воспроизводит дифференцированное регулирование, характерное для живых систем [8].

Самоочищающиеся и самовосстанавливающиеся материалы повышают долговечность фасадных элементов. Гидрофобные покрытия уменьшают загрязнение и проникновение влаги, а материалы с функцией самовосстановления способны снижать последствия локальных повреждений. Смарт-стекло на основе электрохромных и термохромных технологий регулирует светопропускание без применения механических солнцезащитных устройств, повышая адаптивность фасадной оболочки.

Сравнительный анализ показывает, что кинетические фасады обеспечивают высокую степень адаптивности, но требуют сложного управления; модульные многослойные системы отличаются ремонтопригодностью; супергидрофобные покрытия снижают загрязнение, но имеют ограниченный срок службы. Выбор решения зависит от климатических условий, требуемого уровня адаптивности и допустимой сложности обслуживания.

Таблица 1. Сравнительный анализ природных прототипов

Природный прототип	Функция в природе	Архитектурное решение	Ожидаемый эффект	Ограничение
Лист и устьица	Регулирование газообмена и воздействия среды	Адаптивные вентиляционные и солнцезащитные панели	Регулирование освещения и воздухообмена	Сложность управления
Чешуя	Модульная защита и наложение элементов	Перекрывающиеся фасадные панели	Затенение и защита оболочки	Увеличение конструктивной сложности
Защитная оболочка	Отделение внутренней среды от внешних воздействий	Многослойный фасад	Тепловая и ветровая защита	Необходимость обслуживания узлов
Эффект лотоса	Самоочищение поверхности	Супергидрофобное покрытие	Снижение загрязнения	Ограниченная долговечность покрытия

Таким образом, биомиметический подход к адаптивным фасадам основан на функциональном использовании природных принципов адаптации, защиты и самоочищения, а не на внешнем копировании формы. Циркулярность фасадной оболочки обеспечивается модульностью, заменяемостью и ремонтопригодностью элементов. Наиболее перспективны решения, сочетающие пассивную адаптацию материала с модульной организацией конструкции. Выбор фасадной системы определяется климатическими условиями, требуемым уровнем адаптивности и возможностью обслуживания [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есаулов Г. В. Формирование архитектуры устойчивого развития. Синтез архитектурных и инженерных приемов / Г. В. Есаулов // Энергосбережение. – 2024. – № 4. – С. 1-9.

2. Гридюшко А.Д. Биомиметические принципы в архитектурном проектировании: дис. канд. архитектуры / А.Д. Гридюшко – Москва – 2013. – 212 с.

3. Биомиметика в современной архитектуре / URL: https://deziiign.com (дата обращения: 03.10.26).

4. Аннагелдиева Н. Применение принципов биомиметики и природных форм в дизайне современных высотных зданий / Н.

Аннагелдиева, Ы. Гурбанов, Г. Бабаджанов // Современные научные исследования и инновации. – 2026. № 5. – С. 119-120.

5. Серегин Д.В. Тенденции развития бионического подхода в архитектуре / Д.В. Серегин, Е.И. Прокофьев // Известия КГАСУ – Казань – 2024. – № 2(68). – С. 205-220.

6. Хиценко Е.В. Особенности формообразования в кинетической архитектуре / Е.В. Хиценко, В.И. Рыбалкина // Творчество и современность. – 2020. – №1 (12). – С. 119-130.

7. Онищенко Ю.В. Формирование адаптивности архитектуры в региональных условиях: дисс. д-р. Философии / Ю. В. Онищенко // Международная Образовательная Корпорация (кампус Казахской Головной Архитектурно-Строительной Академии) – Алматы – 2024. – С. 127-152.

8. Термохромные материалы для «умных» окон: обзор современных технологий / URL: https://www.frontiersin.org (дата обращения: 08.10. 26).

9. Уморина Ж. Э. Технологические особенности бионической архитектуры / Ж.Э. Уморина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. № 3. – С. 69 – 77.

УДК 629.11

Кулев Д.В., Соловьев А.А.
Научный руководитель: Локтионова А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЭВОЛЮЦИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ СБОРКИ В КОНСТРУКЦИИ КУЗОВОВ FERRARI: ОТ СТАЛИ ДО ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Современный автомобильный рынок, особенно в сегменте суперкаров, характеризуется жесткой конкуренцией, где инженерные решения направлены на достижение предельных показателей скорости, управляемости и безопасности. Компания Ferrari, основанная Энцо Феррари (1898–1988), исторически является одним из лидеров в этой области. Философия бренда, сформированная его основателем, базируется на создании не просто транспортного средства, а эмоционального опыта, где технические характеристики служат максимальному вовлечению водителя [1].

Цель данной работы заключается в анализе эволюции материаловедческих и технологических подходов, применяемых при производстве кузовов Ferrari, и выявлении основных принципов, обеспечивающих уникальность и востребованность бренда на протяжении десятилетий по настоящее время.

Ключевым инженерным принципом Ferrari является минимизация массы автомобиля при сохранении высокой жесткости и надежности. Бренд Ferrari активно применяет в своих автомобилях углепластик и алюминиевый сплав. Инженеры делают это, для того чтобы лучше защитить конструкцию транспортного средства, сделать суперкар легким, более управляемым и устойчивым на дороге [2]. Кроме того, алюминий и углепластик в суперкарах Ferrari связан с повышением безопасности: из-за легкости автомобиля материалы позволяют улучшить пассивную безопасность и ее эффективность. Алюминий используется чтобы создать элементы, которые эффективно поглощают энергию удара: например, передний и задний подрамники спроектированы так, чтобы при деформации целенаправленно поглотить кинетическую энергию, защитив важные компоненты суперкара [3]. Благодаря такому решению в большинстве случаях двигатель и трансмиссия остаются целыми.

История компании неразрывно связана с личностью ее основателя. Энцо Феррари, не имевший высшего образования, но обладавший выдающейся интуицией и страстью к гонкам, создал бренд, ставший символом скорости и статуса. С 1947 по 2023 год Ferrari выпустила около 40 дорожных моделей и более 200 гоночных суперкаров, включая автомобили для «Формулы-1». Символика бренда также имеет глубокие корни: знаменитая эмблема с гарцующим конем (Cavallino Rampante) была предложена графиней Паолиной де Бианколи в 1923 году как талисман, приносящий удачу.

Производственный процесс Ferrari представляет собой гармоничное сочетание ручного труда и передовых технологий. Именно человеческое мастерство остается ключевой особенностью в создании автомобилей. Например, в цехе Carrozzeria Scaglietti роботы отвечают за обработку задней боковой панели у моделей с двигателем V8, в то время как автомобили с моторами V12 по-прежнему собираются вручную опытными мастерами [4,5].

Контроль качества на каждом этапе включает в себя профессиональную мойку, осмотр под специальным освещением, проверку зазоров и геометрии кузова. При работе с алюминиевыми

сплавами требуется особый контроль сварки для предотвращения деформации деталей.

Помимо использования качественных материалов, Ferrari умеет правильно их комбинировать. Одной из ключевых технологий является пропитка под давлением (RTM - Resin Transfer Molding) (рис. 1). Особенностью этого метода является равномерная пропитка армирующего материала, отсутствие воздушных включений и точная геометрия деталей.



Рис. 1 Нанесение пропитки на кузов автомобиля Ferrari

Другой важной особенностью является ручное контактное формирование (выкладка), позволяющее точно располагать волокна в зонах концентрации напряжений для локального усиления нагруженных участков. Однако качество результата при этом напрямую зависит от квалификации мастера.

Еще одним прогрессивным решением являются гибридные соединения, сочетающие клеевое соединение и механический крепеж (болты, заклепки) (рис.2). В такой системе клеевой шов принимает основную нагрузку, а механический крепеж выступает в роли страховочного элемента, предотвращая глобальные разрушения при повреждении адгезионного слоя.

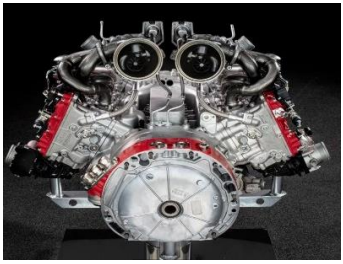


Рис.2 Гибридный мотор Ferrari

Таким образом, компания Ferrari отличается от других мировых брендов уникальным подходом к сборке автомобилей. Инженеры высокотехнологично подходят к процессу, сочетая инновационные материалы (углепластик, алюминий), передовые методы формования (RTM) и гибридные соединения с традиционным ручным трудом [6]. Этот симбиоз позволяет подчеркнуть уникальность и ценность бренда, обеспечивая ему устойчивое лидерство и востребованность на рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сокол, Н. А. Основы конструкции и расчета автомобиля : трансмиссия и ходовая часть : учеб. пособие / Н. А. Сокол, С. И. Попов ; Н. А. Сокол, С. И. Попов; М-во образования Рос. Федерации, Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2004. – 136 с. – ISBN 5-7890-0303-8.

2. Нормативные требования к конструкции и безопасности колесных транспортных средств, осуществляющих деятельность в транспортно-логистическом комплексе страны / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова [и др.]. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 145 с.

4. Новиков, А. Н. Автоматизация процесса определения динамических показателей автотранспортных средств / А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова, А. Г. Локтионова // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования : Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Орёл, 25–26 апреля 2024 года. – Орёл: Орловский юридический институт МВД РФ им. В.В. Лукьянова, 2024. – С. 81-84.

5. Ксенофонтова, В. А. Моделирование поведения элементов конструкции кузова автомобиля при воздействии рабочих и экстремальных нагрузок / В. А. Ксенофонтова, Л. А. Кияшко // International Journal of Advanced Studies. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 40-50. – DOI 10.12731/2227-930X-2022-12-3-40-50.

6. Тишкин, С. А. Влияние конструкции автомобилей на выбросы вредных веществ / С. А. Тишкин // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 4. – С. 117-118.

УДК 004.9

Лапко Н.А.
Научный руководитель: Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СИМБИОЗ ДАННЫХ И НЕЙРОСЕТЕЙ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Внедрение концепции Индустрии 4.0 и повсеместная цифровизация производств сделали поиск аномалий в киберфизических системах одной из главных задач современной информатики. Поскольку оборудование усложняется, а объемы собираемой телеметрии непрерывно растут, инженеры вынуждены создавать интеллектуальные диагностические инструменты. Собирать такие потоки информации в режиме онлайн сегодня помогают технологии IoT [4].

Стандартные статистические методы часто дают сбои, так как они опираются на нормальное распределение и стационарность процессов, что совершенно не подходит для многомерных нелинейных данных. Нейросети, напротив, справляются с этим отлично. В частности, автоэнкодеры успешно выявляют неочевидные паттерны и фиксируют любые отклонения от штатной работы оборудования.

Однако алгоритмам машинного обучения требуются тщательно подготовленные данные. Телеметрия - это стохастические временные ряды со скрытыми связями [1]. Чтобы нейросеть работала предельно точно, аналитики применяют комплексный подход: регрессионный анализ помогает отсеять лишние переменные, а статистическое прогнозирование очищает изначальный сигнал от шума.

Основная часть. Работающий по принципу обучения без учителя автоэнкодер включает два базовых блока:

– Кодировщик (сжимает входной массив в латентное пространство меньшей размерности);

– Декодировщик (разворачивает его обратно).

Нейросеть запоминает эталонное, нормальное поведение системы. Когда на вход поступают нестандартные значения, ошибка восстановления резко подскакивает. Алгоритм фиксирует аномалию, если эта ошибка пробивает заранее установленный порог (к примеру, выходит за пределы трех стандартных отклонений от среднего значения).

По сравнению с классическими линейными алгоритмами (такими как PCA), нейросети демонстрируют превосходные результаты: показатель ROC-AUC у автоэнкодеров достигает 0.9-0.97. Если же внедрить вариационные автоэнкодеры, количество ложноположительных срабатываний снизится еще на 10-15%. Подобные решения уже активно применяют в промышленности: с их помощью оценивают износ турбин в энергетическом секторе и мониторят состояние подвижных составов на транспорте.

Тем не менее, перед загрузкой телеметрии в нейросеть исследователи проводят строгий отбор признаков посредством многокритериальной регрессии [3]:

– Чтобы исключить критическую мультиколлинеарность, факторы с показателем VIF выше 10 удаляют из выборки.

– Для защиты от переобучения и выбора оптимальной архитектуры специалисты рассчитывают информационные критерии Байеса (BIC) и Акаике (AIC).

Поскольку телеметрия имеет выраженную временную структуру, классические инструменты прогнозирования не теряют своей актуальности. Модель ARIMA, объединяющая скользящее среднее, интегрирование и авторегрессию, отлично дополняет глубокое обучение. Работу с ней начинают с тестов Дики-Фуллера для проверки стационарности [2]. На практике дата-саентисты часто строят гибридные комплексы: ARIMA выделяет и прогнозирует линейную компоненту сигнала, а нейросетевая архитектура моделирует нелинейные остатки.

Особое место в глубоком анализе временных рядов занимают рекуррентные архитектуры, в частности LSTM-автоэнкодеры. В отличие от классических полносвязных сетей, они способны сохранять долгосрочный контекст поступающей телеметрии, учитывая не только текущие показатели датчиков, но и их историческую ретроспективу. Подобная специфика критически важна для выявления контекстных аномалий - инцидентов, при которых сами значения параметров остаются в пределах допустимой нормы, однако их нетипичная последовательность или скорость изменения однозначно указывают на скрытую деградацию узла. Чтобы автоматизировать фиксацию таких сбоев и снизить зависимость от ручной калибровки, исследователи всё чаще внедряют методы динамического расчета порога (например, статистический алгоритм Peaks-over-Threshold), которые на лету адаптируются к меняющимся эксплуатационным режимам оборудования.

Заключение. Комбинация нейросетевых автоэнкодеров, прогностических моделей и регрессионного отбора признаков формирует мощный и гибкий механизм для выявления технических сбоев. Опытным путем доказано, что если устранить мультиколлинеарность и правильно настроить систему, такая связка обеспечивает высочайшую точность.

Совместное использование метрик AIC/BIC для оценки факторов и гибридизация автоэнкодеров с алгоритмом ARIMA открывают огромные перспективы для развития мониторинговых платформ. При этом, чтобы готовые нейросетевые комплексы работали стабильно и легко масштабировались в реальных промышленных условиях, разработчики упаковывают их с помощью Docker и Kubernetes [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ю.А. Кашницкий «Открытый курс машинного обучения. Тема 9. Анализ временных рядов в Python» [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/companies/ods/articles/327242/ (дата обращения: 16.09.2026).

2. Обухов М.Н., Воропаев, С. Е. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием ARIMA-моделей / С. Е. Воропаев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс] : Сборник докладов. Часть 2. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 3-6.

3. Крюков А. В., Башков, Д. Р. Методика выявления значимых факторов при использовании многокритериального регрессионного анализа экспериментальных данных / Д. Р. Башков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс] : Сборник докладов. Часть 2. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 52-56.

4. Кашаев Р.С, Васинкин, К. А. Эффективность применения методологии подключения IoT-технологий для оперативного онлайн-мониторинга / К. А. Васинкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова [Электронный ресурс] : Сборник докладов. Часть 2. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 100-102.

5. Палёнов Е.В., Беляев, В. С. Контейнеризация приложений: технологии Docker и Kubernetes / В. С. Беляев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г.

Шухова [Электронный ресурс] : Сборник докладов. Часть 2. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – С. 65-69.

УДК 69

Левшин А.М., Зюбанов А.В.
Научный руководитель: Рябчевский И.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ФОРМАМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Переход строительной отрасли к цифровизации принято описывать как последовательное вытеснение бумажных носителей электронными. Однако в проектах, выполняемых с применением технологий информационного моделирования, значительная часть информации продолжает существовать в нецифровом виде – на бумажных чертежах, в сканах, в рукописных журналах работ, в устных договоренностях, в «документоориентированном», а не «датаориентированном» формате, где чертежи, PDF-файлы и рукописные записи хранят сведения, не структурированные для машинного анализа данные [1-4].

В связи с чем необходимо не просто описывать переход к цифровому формату, но и системно осмыслить саму типологию строительных данных, разграничить цифровые и нецифровые форматы, понять их роль на разных этапах жизненного цикла объекта и определить механизмы их совместного использования.

Под строительными данными понимается вся совокупность сведений, возникающих, накапливаемых и используемых на протяжении существования объекта капитального строительства: от инженерных изысканий до сноса или реконструкции, также как проектная и рабочая документация, результаты изысканий, исполнительные схемы, данные о материалах и конструкциях, эксплуатационные сведения, а также неформальные записи, сопровождающие реальный производственный процесс. На этапе изысканий преобладают текстовые и графические отчеты, часто существующие только на бумаге. На этапе проектирования формируется основной массив документации, который в современных

условиях все чаще создается в цифровом виде. На этапе строительства к проектной документации добавляется исполнительная, значительная часть которой до сих пор ведется на бумажных носителях – журналы работ, акты освидетельствования скрытых работ, паспорта изделий. На этапе эксплуатации объем данных продолжает расти, но их источником становятся уже не проектировщики, а службы эксплуатации. Наконец, при реконструкции или сносе возникает потребность в исходных данных, которые часто оказываются утраченными или доступными только в виде бумажных архивов [5-8].

Важно отметить, что на каждом из этих этапов цифровые и нецифровые данные не столько сменяют, сколько дополняют друг друга. Согласно PAS 1192-2:2013 и серии международных стандартов ISO 19650 строительные данные подразделяются на графические данные, неграфические данные и документы [3, 7, 8].

К цифровым графическим данным относятся двумерные чертежи в форматах DWG, DXF, PLN и трехмерные модели в форматах IFC, RVT, DGN [1–3, 7, 8]. Цифровые неграфические данные представляют собой атрибутивную информацию – размеры, материалы, технические характеристики элементов, хранимую либо в структуре BIM-модели, либо в структурированных таблицах [1, 2, 5, 9, 10]. Цифровые документы включают спецификации, отчеты и контракты, существующие в форматах PDF, XLSX и аналогичных. Скан бумажного документа не превращает его в полноценные цифровые данные: он остается оцифрованным нецифровым источником, поскольку не обладает машинной структурированностью.

Нецифровые данные, в свою очередь, также неоднородны. К ним относятся бумажные чертежи и документация – карандашные эскизы, исполнительные схемы на бумаге; физические носители информации – журналы работ, акты, паспорта изделий, образцы материалов; и устные договоренности, неформальные заметки, которые не кодифицируются, но влияют на принимаемые при этом решения. Бумажные 2D-чертежи сохраняют популярность на площадке по целому ряду причин: они удобны в полевых условиях, не требуют питания и связи, позволяют быстро вносить пометки и исправления [1, 2].

Отдельного внимания заслуживают неграфические данные, в частности, атрибутивная информация (характеристики материалов, эксплуатационные параметры, сведения о гарантиях), и определяющая практическую ценность модели для службы эксплуатации, и что значительная часть этих данных вводится в модель вручную, поскольку отсутствует в исходной документации [5, 9, 10].

Нормативная база, регулирующая обращение со строительными данными в России, активно развивается, однако, как и в международной практике, регулирует она преимущественно цифровые данные. Основой правового регулирования выступает Градостроительный кодекс Российской Федерации, в который Федеральным законом от 27.06.2019 № 151-ФЗ были введены статьи 57.5 «Информационная модель объекта капитального строительства», определяющая информационную модель как совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на всех этапах жизненного цикла, и устанавливает, что правила формирования и ведения такой модели, состав включаемых сведений и требования к форматам электронных документов определяются Правительством Российской Федерации и 57.6 «Классификатор строительной информации».



Рис. 1. Уровни проработки цифровых информационных моделей (ЦИМ)

Конкретизация этих положений содержится в Постановлении Правительства РФ от 17.05.2024 № 614, которое утвердило Правила формирования и ведения информационной модели объекта

капитального строительства, а также состав сведений, документов и материалов, включаемых в модель, и требования к форматам электронных документов. Важно, что документ разграничивает понятия «формирование информационной модели» (сбор, обработка, систематизация и хранение взаимосвязанных сведений на всех этапах жизненного цикла) и «ведение информационной модели» (включение новых сведений, проверка их достоверности и актуализация).

Базовым документом, устанавливающим правила формирования информационной модели на различных стадиях жизненного цикла, является СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

Существенно, что уже на уровне С1 в модель включаются «архитектурные, технические и технологические проектные решения ОКС, включающие проект производства работ с применением конкретного материально-технического обеспечения», а на уровне С2 – информация об отклонениях от проектных положений, выявленных в ходе строительного контроля. Это означает, что нормативно закрепляется необходимость фиксировать в цифровой модели сведения, которые традиционно существовали в нецифровом виде – в журналах работ, актах освидетельствования скрытых работ, исполнительных схемах.

Для объектов непроизводственного назначения действует ПНСТ 909-2024 «Требования к цифровым информационным моделям объектов непроизводственного назначения. Часть 1. Жилые здания». Стандарт распространяется на цифровые информационные модели многоквартирных зданий, индивидуальных жилых зданий и зданий блокированной застройки и устанавливает правила и общие принципы информационного наполнения, а также требования к результатам формирования и ведения ЦИМ с возможностью расширения состава информационного наполнения «в целях реализации дополнительных сценариев применения технологий информационного моделирования», что оставляет пространство для включения данных, изначально существовавших в нецифровом виде.

С 2025–2026 гг. формируется Единая система информационного моделирования (ЕСИМ) – комплекс национальных стандартов, призванных обеспечить методологическое единство в сфере ТИМ. ГОСТ Р 10.00.00.01-2025 «Единая система информационного моделирования. Термины и определения» системно описывает ключевые термины, включая определения информационной модели,

цифровой информационной модели, элемента информационной модели и набора данных [16]. В частности, ЦИМ определяется как «объектно-ориентированная параметрическая трехмерная модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно-насыщенных элементов». ГОСТ Р 10.00.00.02-2026 «Единая система информационного моделирования. Принципы, цели и задачи» формулирует «методологический переход от традиционного документоориентированного подхода к моделеориентированному и датаориентированному подходам» и определяет общие принципы формирования, передачи, хранения и применения информационных моделей. ГОСТ Р 10.00.00.05-2025 «Единая система информационного моделирования. Жизненный цикл объекта информационного моделирования. Общие положения», устанавливает требования к жизненному циклу информационной модели. Таким образом, российская нормативная база последовательно выстраивает рамку для управления цифровыми данными на всех этапах – от изысканий до сноса.

Классификация и кодирование строительной информации регулируются Постановлением Правительства РФ от 12.09.2020 № 1416 «Об утверждении Правил формирования и ведения классификатора строительной информации». Сам Классификатор строительной информации (КСИ) представляет собой информационный ресурс, распределяющий информацию об объектах капитального строительства и ассоциированную с ними информацию в соответствии с ее классификацией (классами, группами, видами и другими признаками). Согласно статье 57.6 ГрК РФ, использование КСИ является обязательным для формирования и ведения информационной модели в случаях, когда такое формирование и ведение являются обязательными.

Отдельного внимания заслуживает регулирование нецифровых данных, которые, как в международной практике не запрещены, но и не охвачены системными механизмами включения в информационный контур проекта. Ведение исполнительной документации регулируется приказом Минстроя России № 369/пр, который прямо допускает два альтернативных варианта: на бумажном носителе либо в форме электронных документов без дублирования на бумажном носителе. При этом, если исполнительная документация ведется на бумажном носителе, количество экземпляров должно соответствовать количеству лиц, подписавших документ. Порядок ведения общего и специального журналов работ установлен РД-11-05-2007, утвержденным приказом

Ростехнадзора; журналы являются документами, предъявляемыми заказчиком рабочим и государственным комиссиям по приемке здания в эксплуатацию. ГОСТ Р 21.101-2020 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации» регламентирует как бумажное, так и электронное выполнение проектной документации, включая правила формирования информационно-удостоверяющего листа и требования к электронным документам с электронной подписью. Однако единого стандарта, который системно описывал бы порядок оцифровки и включения бумажных архивов в информационную модель, на сегодняшний день не существует [10].

Основной проблемой совместного использования цифровых и нецифровых данных является разрыв преемственности. При реконструкции, капитальном ремонте или обследовании существующего здания исходные данные часто существуют только на бумаге или отсутствуют вовсе, а доступность документации по существующим зданиям ограничена: документы утеряны, неполны или находятся в собственности муниципалитетов, не заинтересованных в их передаче. В результате специалист, которому предстоит работать с объектом, вынужден начинать с нуля, порождая новые нецифровые артефакты.

Проблема интероперабельности в строительстве не сводится к технической несовместимости форматов, где значительную роль играют организационные и правовые барьеры, из-за которых данные остаются в изолированных средах.

Неструктурированные строительные данные плохо поддаются машинной обработке. Информация, хранящаяся в чертежах, PDF-файлах и рукописных записях, «не структурирована для того, чтобы системы могли ее анализировать, проверять или связывать».

Разрыв компетенций обусловлен тем, что часть специалистов продолжает работать, используя ручные расчеты и бумажные журналы, тогда как другая часть осваивает цифровые инструменты. В компаниях, декларирующих приверженность BIM, реальное внедрение остается фрагментарным, что порождает ситуацию, когда цифровые и нецифровые данные не столько интегрируются, сколько накапливаются параллельно, создавая дублирование и противоречия.

Наиболее перспективное направление интеграции нецифровых данных в цифровую среду – оцифровка физических объектов и бумажных носителей методами лазерного сканирования и фотограмметрии с последующим созданием информационных моделей.

Облако точек, полученное с LiDAR-сканера, проходит через реконструкцию поверхностей и глубокое обучение, в результате чего формируется IFC-модель помещения. Но полностью автоматический Scan-to-BIM остается нерешенной задачей, однако полуавтоматические алгоритмы уже применяются на практике [28].

Второе направление интеграции – организационное. Создание единой централизованной среды, в которой хранятся все данные по проекту: модели, чертежи, документы, переписка. Среда общих данных (СОД) обеспечивает «единый централизованный источник» информации и «последовательный поток данных» между этапами проекта. Однако практическая реализация СОД сталкивается с теми же барьерами, что и цифровизация в целом: необходимостью обучения персонала, сопротивлением изменениям и необходимостью интеграции с уже существующими системами. Кроме того, СОД по определению ориентирована на цифровые данные, тогда как нецифровые источники остаются за ее пределами.

Третье направление – методологическое с выработкой правил и регламентов, определяющих, какие данные подлежат обязательной оцифровке, а какие могут оставаться в нецифровом виде, и как обеспечивается их взаимная интеграция. Такие регламенты могут устанавливаться как на уровне организации (внутренние стандарты), так и на уровне проекта (план реализации BIM, разрабатываемый в соответствии с нормативными требованиями).

Цифровые и нецифровые данные в строительстве не противопоставлены, а сосуществуют. Даже в проектах, выполняемых с применением информационного моделирования, остается место для PDF-файлов, бумажных чертежей, сканов и устных договоренностей. Основная задача состоит в гибридной интеграции, при которой нецифровые источники оцифровываются и структурируются по мере необходимости. Так же нормативная база регулирует преимущественно цифровые данные, оставляя нецифровые, что создает разрыв между нормативным идеалом и реальной практикой. Ключевые технологии интеграции, Scan-to-BIM и СОД, уже существуют, но их внедрение сдерживается организационными, а не техническими барьерами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2020. 688 p.

2. Eastman C. M., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2011. 648 p.

3. British Standards Institution. PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. London: BSI, 2013.

4. Сулейманова Л. А. Цифровизация строительной отрасли как IT-структурирование пирамиды управления процессами / Л. А. Сулейманова, П. В. Сапожников, А. Н. Кривчиков // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 4. – С. 12–24.

5. Сулейманова Л. А. Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Университетская наука. – 2023. – № 1 (15). – С. 117–119.

6. Сулейманова Л. А. Системы облачного хранения данных для управления жизненным циклом объектов строительства / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 170-летию В. Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – Т. 1. – С. 240–245.

7. Никулина Ю. А. О влиянии влажностных условий на характеристики бетонов на завершающем этапе эксплуатации объекта капитального строительства при управлении его жизненным циклом / Ю. А. Никулина, Л. А. Сулейманова // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2025. – С. 163–167.

8. Сулейманова Л. А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения / Л. А. Сулейманова, А. А. Обайди // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 38–46.

9. Римшин В. И. Нейросетевое прогнозирование несущей способности железобетонных элементов на различных стадиях жизненного цикла / В. И. Римшин, П. А. Амелин, Л. А. Сулейманова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2024. – № 11. – С. 42–55.

10. Сулейманова Л. А. Реализация алгоритмов машинного обучения в Statistica Neural Networks для прогнозирования прочности железобетонных элементов / Л. А. Сулейманова, П. А. Амелин, Е. В. Овчинников // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2025. – С. 168–172.

УДК 69.04

Лимощенко В.А., Колупаев И.В.
Научный руководитель: Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА СТАЛЬНОЙ РАМЫ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

В настоящее время рамные конструкции из сварных двутавров переменного сечения широко вошли в строительную практику России. К очевидным преимуществам можно отнести высокую технологичность этих конструкций по всем заготовительным и сборочным операциям; возможность глобальной автоматизации производства; исключительную надежность, в том числе при воздействии динамических нагрузок и низких температур; повышенную коррозионную стойкость; малую строительную высоту, позволяющую существенно уменьшить строительный объем зданий и практически исключить дополнительную монтажную сборку, присущую фермам больших пролетов, и др. [1].

Использование программных комплексов при расчете металлических рам переменного сечения требует правильного создания расчетной схемы конструкции для получения реальных усилий и перемещений элементов [2]. В программных комплексах прошлых лет применялся способ аппроксимации элементов рамы стержневыми элементами постоянного сечения, что является достаточно трудоемким процессом. Количество аппроксимированных элементов влияет на полученные усилия и перемещения схемы, которые могут сильно отличаться от реальных значений [3]. В некоторых современных программных комплексах есть возможность задать переменное сечение одним типом жесткости, путем задания геометрических размеров сечения в начале и конце элемента.

В работе рассматривается три разных способа создания геометрической схемы одной стальной двутавровой рамы переменного сечения. Сравним полученные усилия и перемещения и сделаем вывод об актуальности способа аппроксимации в современных программных комплексах.

Для расчета рассмотрим стальную раму из сварных двутавров переменного сечения пролетом 55,38 м производственного здания в городе Казани. В программном комплексе ЛИРА-САПР 2024 создадим

три расчетные схемы с одинаковыми загружениями и сравним значения усилий и перемещений.

В первом способе разбиваем раму на отдельные участки постоянного сечения и назначаем жесткость как среднее арифметическое значение сечения в начале и конце элемента (рис. 1).

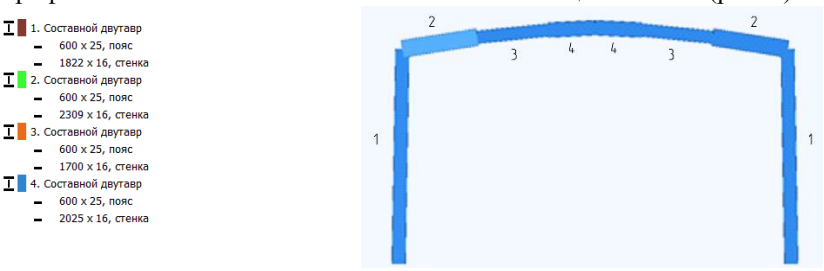


Рис. 1. Список типов жесткостей и пространственная модель первого варианта моделирования

Во втором способе аппроксимируем элементы и назначим жесткость для каждого стержня (рис. 2).

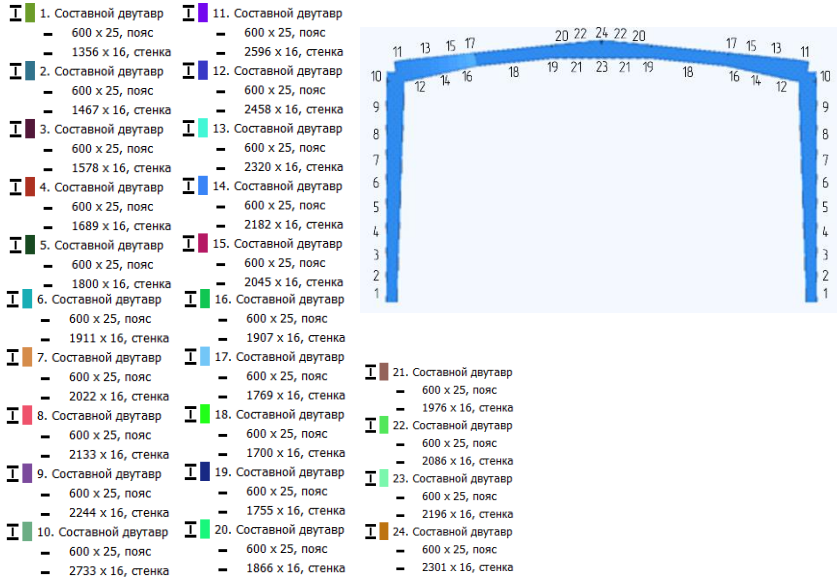


Рис. 2. Список типов жесткостей и пространственная модель второго варианта моделирования

В третьем способе воспользуемся функцией задания жесткости для переменного сечения, задав геометрические характеристики элемента в начале и конце стрежня (рис. 3).

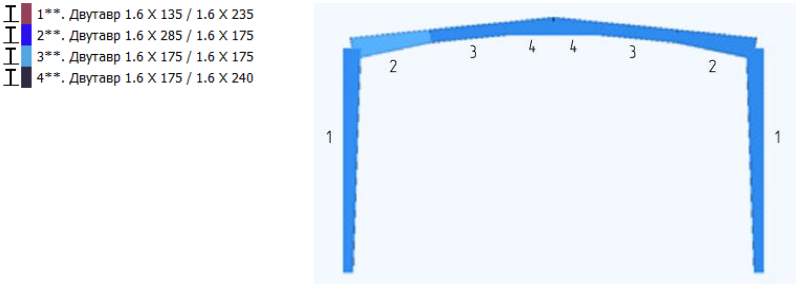


Рис. 3. Список типов жесткостей и пространственная модель третьего варианта моделирования

На каждую расчетную схему назначим нагрузки (табл. 1), создадим таблицу РСУ и РСН с необходимыми коэффициентами надежности [4].

Таблица 1 – Нагрузки на раму

№	Имя загружения	Коэффициент надежности	Значение, кг/м2
1	Собственный вес	1,05	по размерам сечения
2	Инженерные системы	1,1	30
3	Кровля	1,2	50
4	Снег	1,4	230
5	Ветер на левую стойку (наветренная сторона)	1,4	39
	Ветер на правую стойку (подветренная сторона)		25

После выполнения расчета перейдем к анализу полученных результатов изгибающих моментов (табл. 2) и перемещений (табл. 3) в самых нагруженных элементах рамы.

Таблица 2 – Значения усилий изгибающего момента

Усилия M_y в элементах рамы, кН·м				
Элемент	Сечение	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Левая стойка	Низ	575,09	404,12	407,99
	Верх	-1347,24	-1402,51	-1410,39
Правая стойка	Низ	1078,73	831,04	837,15

	Верх	-1631,95	-1761,15	-1768,16
Ригель	Левый край	-1348,65	-1402,51	-1411,73
	Правый край	-1633,70	-1761,15	-1769,84
	Конек	1137,93	1040,97	1060,27

Таблица 3 – Значения перемещений

Перемещения по z, мм				
Элемент	Сечение	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Ригель	Левый край	-0,74	-0,82	-0,78
	Правый край	-0,55	-0,58	-0,54
	Конек	-36,43	-31,71	-32,55

Анализируя полученные результаты, наблюдаем, что разница минимальных значений изгибающих моментов между первым и третьим вариантом моделирования оставляет 8%, а разница максимальных значений изгибающих моментов – 7,1%. Между вторым и третьим вариантом моделирования эта разница будет составлять 0,49% и 1,84% соответственно.

Разница максимальных перемещений для первого и третьего варианта составит 11,25%, для второго и третьего – 2,61%.

Метод аппроксимации позволяет максимально приблизиться к действительным усилиям и перемещениям в металлических рамах переменных сечениях [5]. Как показал сравнительный анализ, при аппроксимации элементов переменного сечения с достаточно маленьким шагом результаты будут незначительно отличаться от значений, полученных при задании конструкций конечными элементами переменной жесткости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения: Монография, М.: Издательство АСВ, 2018 г.- 1072 с.

2. Дрокин, С. В. Изменение механических свойств и параметров сечений стальных конструкций при возведении зданий / С. В. Дрокин, И. С. Пахомов // Наукоемкие технологии и инновации (XXVI научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 25 ноября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 74-77.

3. Евченко, С. В. Создание расчётной схемы рамы переменного сечения / С. В. Евченко, О. Б. Иванова // Международный студенческий научный вестник. - 2019. - № 6. - С. 43.

4. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* - М.: Минстрой России, 2016. – 80 с.

5. Раков, В. Д. Расчёт металлических рам с элементами линейно-переменного сечения с использованием различных конечно-элементных моделей / В. Д. Раков, Н. А. Марина, Л. Е. Путеева, Б. А. Тухфатуллин // Информационно-вычислительные технологии и их приложения : Сборник статей XXIV Международной научно-технической конференции, Пенза, 2020. - С. 106-110.

УДК 621.9.06

Линже М. Ф. Мб.
Научный руководитель: Носатова Е.А., канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА

Производство сахара относится к технологически сложным процессам пищевой промышленности. Переработка сахарной свёклы осуществляется с использованием транспортирующего, измельчающего, насосного, теплообменного, центрифугирующего и другого оборудования. На отдельных участках одновременно присутствуют повышенная температура, влажность, шум, производственная пыль, химические вещества и электрооборудование.

Сочетание различных факторов определяет необходимость систематического выявления опасностей на каждом этапе технологического процесса. Трудовое законодательство Российской Федерации предусматривает обязанность работодателя обеспечивать безопасные условия труда и осуществлять мероприятия по управлению профессиональными рисками [1].

Для предприятий пищевой промышленности установлены специальные требования охраны труда, учитывающие особенности технологических процессов и используемого оборудования [2]. Непосредственно требования безопасности к машинам и технологическому оборудованию сахарного производства установлены ГОСТ 31528–2012 [3].

Цель исследования – выявить и систематизировать основные опасности технологических этапов производства сахара, сопоставить их с динамикой производственного травматизма и определить основные направления снижения профессиональных рисков.

Для оценки общей динамики использованы официальные данные Росстата о производственном травматизме. Федеральное статистическое наблюдение осуществляется по форме № 7 – травматизм «Сведения о травматизме на производстве и профессиональных заболеваниях» [4]. Согласно данным Росстата, в 2020–2024 гг. количество пострадавших изменялось неравномерно: после увеличения в 2021 г. показатель снизился в 2022 г., а в2023–2024 4 гг. вновь наблюдался рост.

Таблица 1 – Динамика производственного травматизма в Российской Федерации в 2020–2026 гг.

Год	Число пострадавших на производстве тыс. чел	Коэффициент травматизма на 1000 работников
2020	20,5	1,0
2021	21,6	1,1
2022	20,3	1,0
2023	20,9	1,0
2024	21,4	1,0
2025*	18,4	0,91

*2025 г.– аналитическая оценка, не окончательные официальные данные Росстата. Показатели за 2025 г. – аналитическая оценка автора.

Таким образом, утверждение о непрерывном снижении травматизма в 2020–2025 гг. было бы некорректным. В действительности динамика имеет колебательный характер. В 2021 г. показатель увеличился по сравнению с 2020 г., в 2022 г. снизился, а в 2023–2024 гг. снова увеличился. Следовательно, для оценки состояния охраны труда недостаточно использовать только общий показатель количества пострадавших, необходим анализ конкретных производственных процессов и источников опасности.

Производство сахара из сахарной свёклы включает приём и хранение сырья, его транспортирование и мойку, измельчение, получение и очистку диффузионного сока, выпаривание, кристаллизацию, центрифугирование, сушку и фасовку готовой продукции. Каждый технологический этап целесообразно рассматривать отдельно. Такой подход позволяет установить

непосредственный источник опасности, определить возможные последствия и подобрать соответствующие меры защиты.

Таблица 2 – Основные опасности технологических этапов производства сахара

Этап	Основное оборудование	Выявленные опасности	Возможные последствия
Приём и хранение свёклы	погрузчики, транспортёры, буртоукладчики	движение транспорта и механизмов, падение предметов	ушибы, переломы, наезды
Транспортировка и мойка	гидротранспортёры, свекломойки, элеваторы	движущиеся части, влажные поверхности, электрооборудование	травмы конечностей, падения, поражение током
Измельчение	свеклорезки	режущие и вращающиеся элементы	порезы, защемление, тяжёлые травмы
Получение и очистка сока	диффузионные аппараты, насосы, трубопроводы	горячая жидкость, давление, химические реагенты	ожоги, химические поражения
Выпаривание	выпарные аппараты, паропроводы	пар, горячие поверхности, давление	ожоги, перегрев
Кристаллизация и центрифугирова-ние	вакуум-аппараты, центрифуги	вращение, горячий продукт, давление	механические травмы, ожоги
Сушка	сушильные установки, вентиляторы	высокая температура, движущиеся части, пыль	ожоги, травмы, воздействие пыли
Фасовка и складирование	фасовочные машины, транспортёры	защемление, падение упаковок, пыль	травмы, воздействие пыли

Наиболее выраженные механические опасности возникают практически на всех этапах. Контакт с движущимися или вращающимися частями оборудования может привести к защемлению и другим механическим травмам. Для предотвращения подобных

случаев применяются защитные ограждения и устройства безопасности [2, 3].

На участке мойки дополнительным фактором является наличие воды. Влажные поверхности повышают вероятность падения работника, поэтому проходы и рабочие площадки должны содержаться в безопасном состоянии.

На участке измельчения основной опасностью являются режущие механизмы. Конструкция оборудования должна исключать непосредственный доступ работника к опасным частям. Очистка, наладка и техническое обслуживание выполняются после остановки оборудования и принятия предусмотренных мер безопасности [2, 3].

При получении и очистке сока возникают термические и химические опасности. Для снижения риска необходимо контролировать герметичность оборудования и трубопроводов, состояние арматуры, вентиляции и параметры технологического процесса.

На стадии выпаривания основными опасными факторами являются высокая температура, пар и давление. ГОСТ 31528–2012 устанавливает требования безопасности к оборудованию сахарного производства, включая требования к конструкции, герметизации и защитным устройствам [3].

Кристаллизация и центрифугирование характеризуются сочетанием механической и термической опасностей. Центрифуги имеют вращающиеся рабочие элементы, поэтому особое значение имеют исправность защитных устройств и блокировок. При техническом обслуживании оборудование должно быть остановлено и приведено в безопасное состояние [2, 3].

При сушке и фасовке возрастает значение пылевого фактора. Необходимо контролировать запылённость воздуха и состояние производственных поверхностей, обеспечивать эффективную вентиляцию и регулярную уборку помещений.

Электрические опасности присутствуют практически на всех этапах. Безопасность обеспечивается исправным состоянием электрооборудования, использованием предусмотренных средств защиты и соблюдением требований электробезопасности.

Анализ показывает, что снижение производственного травматизма должно обеспечиваться не одной отдельной мерой, а совокупностью *технических* и *организационных* решений.

В первую очередь должны применяться *технические меры* защиты: защитные ограждения и блокировки, автоматизация опасных

операций, теплоизоляция горячих поверхностей, вентиляция, сигнализация и контроль параметров технологического процесса [3].

Организационные мероприятия включают обучение работников безопасным методам работы, проведение инструктажей, контроль соблюдения требований охраны труда и регулярную проверку технического состояния оборудования [1,2].

Средства индивидуальной защиты подбираются с учётом конкретных условий труда. На отдельных участках могут применяться защитные очки, каски, перчатки, специальная обувь, защитная одежда и средства защиты органов дыхания. При этом СИЗ являются дополнительной мерой защиты и не заменяют технические способы устранения опасности.

Было выявлено, что производство сахара характеризуется комплексом механических, термических, химических, электрических и пылевых опасностей. Их сочетание и степень выраженности изменяются в зависимости от конкретного технологического этапа и используемого оборудования.

Наиболее существенные опасности сахарного производства связаны с движущимися и режущими механизмами, вращающимся оборудованием, горячими технологическими средами, паром, давлением, химическими веществами и производственной пылью.

Снижение профессиональных рисков должно основываться прежде всего на техническом совершенствовании оборудования, автоматизации опасных операций, использовании защитных устройств, безопасной организации ремонтных работ и систематическом обучении работников.

Таким образом, поэтапный анализ опасностей позволяет конкретизировать источники профессиональных рисков и определить наиболее эффективные профилактические мероприятия для обеспечения безопасных условий труда на предприятиях сахарной промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трудовой кодекс Российской Федерации : Федеральный закон от 30 дек. 2001 г. № 197-ФЗ: в действующей редакции // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – № 1, ч. 1. – Ст. 3.

2. Об утверждении Правил по охране труда при производстве отдельных видов пищевой продукции: приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 дек. 2020 г. № 866н: в

ред. приказа Минтруда России от 29 апр. 2025 г. № 287н. Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru / (дата обращения: 23.09.2026).

3. ГОСТ 31528–2012. Машины и оборудование для производства сахара. Требования безопасности. – Введ. 2014-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 16 с.

4. Федеральная служба государственной статистики. Производственный травматизм [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosstat.gov.ru (дата обращения: 23.09.2026).

5. Рекомендации по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей, а также по оценке уровней профессиональных рисков в рамках системы управления охраной труда. – Москва: Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации, 2022. [Электронный ресурс]. – URL: - https://www.consultant.ru/ (дата обращения: 23.09.2026).

6. Климова Е. В., Оценка и анализ психологических причин в профилактике травматизма/ Е. В. Климова, Е. А. Носатова , А. Ю. Семейкин // Вестник НЦБЖД. – 2021. – № 1 (47). – С. 131 – 141.

УДК 69.05

Ложкин П.Е.
Научный руководитель: Плеханова Т. А., канд. техн. наук, доц.
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т.Калашникова, г. Ижевск, Россия

УКРЕПЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА БУРОИНЪЕКЦИОННЫМИ СВАЯМИ ПО МАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ГИДРОРАЗРЫВОМ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ

Усиление оснований зданий старой застройки – задача, значение которой в крупных городах растет вместе с техногенной нагрузкой. От того, насколько удастся улучшить строительные свойства грунтов под такими зданиями, напрямую зависят долговечность и надежность сооружений[6, с. 52-54]. Привычные способы в данных условиях работают далеко не всегда. Перекладка существующих и подведение новых фундаментов, устройство обойм, которые укрепляют кладку и снижают удельное давление на грунт, возведение рядом со зданием свайных фундаментов, берущих на себя часть нагрузки – все это методы с ограниченной областью применения[4,с. 4-12]. Закрепление оснований нередко приходится повторять на уже усиленных

объектах[3, с. 52-53]. С такой задачей при минимальных затратах справляется манжетная технология.

Суть данной технологии заключается в инъекции цементного раствора под давлением до 3-6 МПа с образованием и распространением в грунтовом массиве гидравлических разрывов («гидроразрывов») являются относительно короткие сроки и минимизация объёмов выполнения подготовительных и земельных работ, армирование грунта более прочными по структуре гидроразрывами из цементного раствора и одновременного уплотнения грунта между ними в процессе консолидации, особенно при высоком уровне грунтовых вод [7, с. 294].

Чтобы оценить эффективность технологии на практике, необходимо рассмотреть ее применение в конкретных грунтовых условиях.

Для определения физико-механических характеристик грунтов (таблица 1, 2) и их напластования на площадке для проведения исследований были выполнены скважины с отбором проб грунта нарушенной и ненарушенной структуры. Установившийся уровень грунтовых вод в интервале глубин 1,2-1,6 м.

Характеристики грунтового основания строительной площадки.

Таблица 1 – Данные инженерно-геологических изысканий.

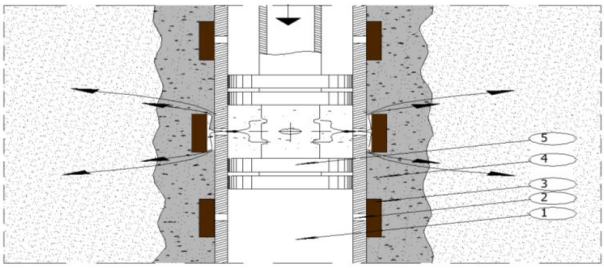
№ скв.	Отм. устья скв. (м)	УПВ (м)	Мощности слоев грунтов (м)		
			1	2	3
1	127,8	127,8	2,4	3,6	не уст.
2	128,1	127,1	2,4	3,0	не уст.
3	127,4	127,4	2,1	3,5	не уст.
4	127,6	127,6	2,0	3,0	не уст.

Таблица 2 – Данные физико-механического состава грунтов

№	Наименование грунта	Плотность т/м3		Влажность отм. ед.		
		ρ	ρ_s	w_0	w_p	w_L
1	Песок крупный	2,024	2,653	0,231	---	---
2	Глина	1,952	2,717	0,296	0,106	0,401
3	Песок пылеватый	1,987	2,662	0,257	---	---
4	Суглинок	1.921	2,704	0,314	0,284	0,598

Как видно из таблиц, основание сложено водонасыщенными песками и связными грунтами, то есть именно теми условиями, для которых метод инъекции с гидроразрывом считается наиболее эффективным. Рассмотрим, как данный метод реализуется технически.

Инъекция в грунт растворов выполняется с использованием манжетных колонн. В качестве манжетных колонн используются трубы из металла или полимерных материалов. Типовая конструкция скважины с манжетной колонной приведена на (рис.1)[5, с. 61].



1 – труба металлическая, 2 – отверстие, 3 – резиновый манжет, 4 – обойма, 5 – тампон самоуплотняющийся

Рис. 1 – Скважина инъекционная с установленной манжетной колонной

Методом инъекции в режиме гидроразрыва растворами на основе цементов типа И укрепляют любые грунты различной степени водонасыщения (для песков) и консистенции (для связных грунтов) – супесчаные, суглинистые и глинистые, получая требуемые показатели укрепления[5, с. 13-22]. Перемещаемый внутри инъектора пакер герметизирует и направляет подачу раствора в заданный интервал, что критически важно для формирования разрывов. Нагнетание раствора в режиме гидроразрыва происходит при перепадах давления от 0,6–0,8 до 1,2–1,8 МПа и ведёт к локальному разрыву грунта с образованием полости [5, с. 64-67]. Закрепление грунтов манжетным способом следует вести многократно-циклическим режиме, с повторяемостью циклов от 3 до 5 раз, что приводит к увеличению количества сформированных гидроразрывов на каждом горизонте инъекции и как следствие более эффективному закреплению грунтового массива. Толщина гидроразрывов при циклическом режиме инъекции в 1,5-1,8 раза больше чем при однократном режиме.

Реализация такого режима требует соответствующего оборудования. Работы были выполнены с применением комплекса по приготовлению инъекционного раствора с плунжерным насосом,

обеспечивающим давление до 5–12 МПа для подачи раствора к точке инъекции.

Таким образом, эффективность выполненного закрепления была оценена по двум направлениям: численным моделированием и сейсмоакустическими измерениями. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния грунта основания реконструируемого здания в г. Ижевске включало оценку степени консолидационного уплотнения грунта и повышения значений его модулей деформации в сопоставлении с данными определений характеристик грунта, полученными с помощью комплексных сейсмоакустических методов. По данным моделирования, водонасыщенный пылеватый песок в основании рассматриваемого здания в результате закрепления в режиме гидроразрыва приобрел значения модуля деформации в интервале от 16,7 до 25 МПа, при начальном значении 10 Мпа[1,с 13].

Результаты моделирования подтверждают и натурными измерениями. По скоростям продольных и поперечных волн были вычислены значения динамического модуля упругости и динамического коэффициента Пуассона грунтов в зоне закрепления и за ее пределами. В зоне закрепления величина динамического модуля упругости в среднем составила 24-25 МПа, значение коэффициента Пуассона 0,41. За пределами зоны закрепления величина динамического модуля упругости в среднем составила 10-11 МПа, значение коэффициента Пуассона 0,40 соответственно, то есть, закрепление увеличило жесткость грунта более чем в два раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ермолаев, В.А. Закрепление оснований зданий и сооружений методом гидроразрыва при неоднократном инъектировании : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.А. Ермолаев. – Санкт-Петербург, 2013. – 166 с.

2. Ибрагимов, М.Н. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов : монография / М.Н. Ибрагимов, В.В. Семкин. – Москва : Издательство АСВ, 2012. – 256 с.

3. Мацегора, А.Г. Инъекционное укрепление грунтов основания фундаментов / А.Г. Мацегора, А.И. Осокин, В.А. Ермолаев // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 7. – С. 52–53.

4. Методические рекомендации по применению буроинъекционных свай / разраб. А.И. Егоров ; Институт

«Спецпроектреставрация» Министерства культуры РСФСР. – 2-е изд. – Москва : Восстановление, 1997. – 59 с.

5. Методическое пособие по укреплению грунтов методами струйной цементации, глубинным перемешиванием, инъекции растворами на основе микроцементов, манжетной инъекцией в режиме гидроразрыва / Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве». – Москва, 2020. – с 80.

6. Пономаренко, Ю.В. Укрепление оснований фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений / Ю.В. Пономаренко, В.С. Кузькин // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 6. – С. 52–54.

7. Самохвалов, М.А. Результаты экспериментальных исследований формирования гидроразрывов в пылевато-глинистых грунтах / М.А. Самохвалов, О.В. Ахихмин, А.Е. Токарев, А.А. Паронко // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 3. – С. 294-297.

УДК 71

Ломов М. И.
Научный руководитель: Ярмош Т. С., канд. социол. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РЕКРЕАЦИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ КАРКАСЕ ГОРОДА И ГРАНИЦЫ ДОСТУПА К ПРИРОДНЫМ ТЕРРИТОРИЯМ

На схеме городского озеленения лесной массив, берег реки и благоустроенный парк нередко выглядят как части единой зелёной системы. Для человека, выбирающего место прогулки, различия между ними существенны: к одному участку можно подойти с жилой улицы, другой доступен только по тропе, а посещение третьего может противоречить задаче сохранения природы. Проект экологического каркаса должен объяснять эти различия уже на стадии планировочной схемы.

В работе предлагается рассматривать отдельно границу природной территории, которую необходимо сохранить, и границу пространства, доступного посетителю. Они могут совпадать, но такое совпадение требует обоснования. Прогулка вдоль природного участка, наблюдение с его края и проход через него — разные способы использования. Их различение позволяет обсуждать рекреацию предметно, не сводя

решение к выбору между полным открытием и полным исключением территории из городской жизни.

Такой подход развивает представление о зелёной инфраструктуре как связанной системе, в которой природоохранные и общественные задачи рассматриваются совместно [1]. В исследовании Н. А. Василенко ландшафтно-рекреационная среда описана через взаимодействие населения и территории [3]. Работа Т. С. Ярмош и Е. И. Максаевой о Белгороде обращает внимание на планировочную организацию рекреационных пространств [4]. Эти положения дают основание оценивать не только наличие зелёного участка, но и способ включения человека в его пространство.

При этом объединение функций не означает, что каждая из них должна осуществляться на всей площади. Исследования многофункциональности зелёной инфраструктуры [5, 6] и компромиссов между охраной природы и благополучием человека [10] позволяют поставить вопрос точнее: какие виды использования совместимы в одном месте, а какие следует развести. Цель статьи — показать, как это различие можно отразить в понятной градостроительной схеме при неполных данных о территории.

Для сравнения взят условный природный участок у жилой застройки. Его чувствительная часть показана одинаково во всех вариантах; меняется только организация посещения. Предполагается, что проход через эту часть способен нарушить сохраняемую функцию, тогда как прогулочный маршрут по внешней стороне может быть рассмотрен отдельно. Это исходное условие схемы, а не установленный факт о конкретном участке Старого Оскола. На реальной территории оно потребует предметной проверки.

В первом варианте дорожка пересекает чувствительную часть и фактически подчиняет ей границу посещения: посетителю предлагается войти туда, где требуется сохранение природного процесса. Во втором маршрут остаётся у жилой стороны участка, а место короткой остановки позволяет наблюдать природный ландшафт без прохода через него (рис. 1). Рекреационная возможность сохраняется, но её пространственная форма меняется.

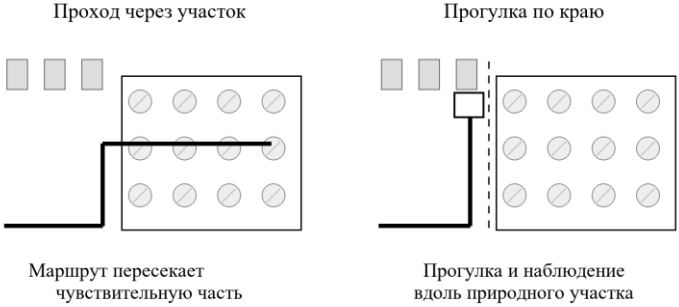


Рис. 1. Два способа размещения маршрута у природного участка (авторские условные схемы, без масштаба)

Сравнение показывает планировочную возможность, которую легко потерять на обобщённой карте: природный участок может участвовать в рекреационной системе города, оставаясь частично закрытым для непосредственного посещения. Однако положение дорожки снаружи само по себе не доказывает отсутствия воздействия. Освещение, шум, домашние животные и пребывание людей у границы также требуют оценки. На схеме определяется предмет проверки — конкретный маршрут и его окружение, а не отвлечённая «пригодность» всей территории.

Иногда конфликт связан не столько с местом, сколько со временем посещения. Тогда один и тот же проход может рассматриваться для разных сезонов с разными условиями доступа. В рекомендациях по управлению посещением охраняемых территорий рекреация рассматривается вместе с задачами сохранения [2]. Для городской схемы это означает необходимость показывать сезонный режим как часть проекта: где расположен вход, где возможно его закрытие и какой путь остаётся посетителю (рис. 2). Сам срок ограничения устанавливается по сведениям о сохраняемой функции, а не по удобству эксплуатации.

Отдельный случай возникает, когда необходимые сведения отсутствуют. Проектировщик ещё не знает, совместим ли проход с природной функцией или безопасен ли выбранный участок. Здесь преждевременное нанесение постоянного маршрута создаёт видимость готового решения. На схеме целесообразно отделять подтверждённый доступ от предполагаемого продолжения и указывать, какое обстоятельство мешает принять его. Различение отсутствующих

сведений и неоднозначных понятий соответствует исследованиям неопределённости в экологическом планировании [7, 8].

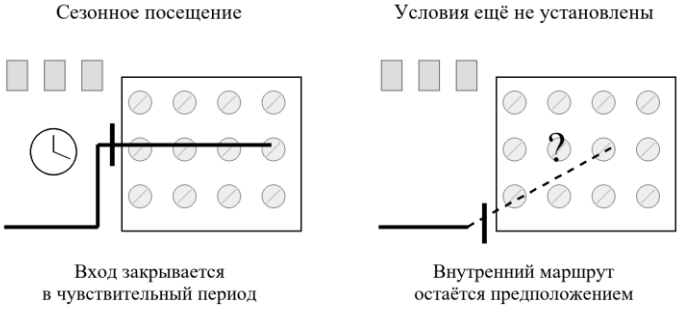


Рис. 2. Временное ограничение и неустановленная возможность прохода (авторские условные схемы, без масштаба)

Неизвестность внутреннего прохода не всегда требует отложить всю работу. Если внешний маршрут имеет самостоятельное назначение и его допустимость подтверждена, его можно рассматривать независимо от будущего решения по чувствительной части. Если же сама возможность подхода к участку не установлена, безопасного основания для такого продвижения нет. Разница состоит в том, сохраняет ли первая очередь смысл без предполагаемого продолжения. Этот вопрос связывает работу с неполными сведениями с адаптивным подходом к городскому проектированию [9].

Для исследования Старого Оскола предлагается последовательно наносить на рабочую схему сохраняемые природные участки, места возможного подхода и границы посещения. У каждого спорного места достаточно краткого пояснения: что сохраняется, какой вид отдыха рассматривается и чего ещё не хватает для решения. Правовой режим и условия безопасности устанавливаются по относящимся к участку документам и данным. Схема помогает сопоставить их, но не заменяет такую проверку.

Главный результат сравнения состоит в разделении двух проектных решений: включения природной территории в экологический каркас и организации доступа к ней. Первое не предопределяет второго. Между проходом через участок и отказом от рекреации остаются прогулка по краю, наблюдение, ограниченное по времени посещение и поэтапное освоение. Их выбор должен быть

связан с конкретной природной функцией и подтверждёнными условиями, а не только с привлекательностью места.

Предложенная графическая последовательность предназначена для методической части градостроительного исследования. Она делает видимым пространственный смысл ограничений и позволяет обсуждать альтернативы до детальной разработки территории. Схемы обосновывают различие вариантов в пределах принятых условий; они не являются проектом Старого Оскола и не подтверждают экологическую эффективность конкретного благоустройства. Следующий этап работы — сопоставление этих вариантов с реальными участками и материалами об их состоянии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Benedict M. A., McMahon E. T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, DC: Island Press, 2006. 320 p.

2. Tourism and Visitor Management in Protected Areas: Guidelines for Sustainability / ed. by Y.-F. Leung, A. Spenceley, G. Hvenegaard, R. Buckley. Gland: IUCN, 2018. XII, 120 p. (Best Practice Protected Area Guidelines Series; No. 27). DOI: 10.2305/IUCN.CH.2018.PAG.27.en.

3. Василенко, Н. А. Системные принципы формирования ландшафтно-рекреационной среды крупного города: автореф. дис. … канд. архитектуры: 18.00.01. М., 2009. 27 с.

4. Ярмош, Т. С. Рекреационные пространства города, их проблемы и перспективы развития (на примере г. Белгорода) / Т. С. Ярмош, Е. И. Максаева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2024. Т. 9, № 5. С. 70–85. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-70-85.

5. Hansen R., Pauleit S. From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas // Ambio. 2014. Vol. 43, No. 4. P. 516–529. DOI: 10.1007/s13280-014-0510-2.

6. Li L., Carter J. Exploring the relationship between urban green infrastructure connectivity, size and multifunctionality: a systematic review // Landscape Ecology. 2025. Vol. 40. Article 61. DOI: 10.1007/s10980-025-02069-1.

7. Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support / W. E. Walker, P. Harremoës, J. Rotmans [et al.] // Integrated Assessment. 2003. Vol. 4, No. 1. P. 5–17. DOI: 10.1076/iaij.4.1.5.16466.

8. Regan H. M., Colyvan M., Burgman M. A. A Taxonomy and Treatment of Uncertainty for Ecology and Conservation Biology // Ecological Applications. 2002. Vol. 12, No. 2. P. 618–628.

9. Ahern J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world // Landscape and Urban Planning. 2011. Vol. 100, No. 4. P. 341–343. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.02.021.

10. Hard choices: Making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being / T. O. McShane, P. D. Hirsch, Tran Chi Trung [et al.] // Biological Conservation. 2011. Vol. 144, No. 3. P. 966–972. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.04.038.

УДК 71

Ломов М.И.
Научный руководитель: Ярмош Т.С., канд. социол. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПЕШЕХОДНЫЕ СВЯЗИ РЕКРЕАЦИОННОЙ СЕТИ ГОРОДА И ПРИОРИТЕТ ЗАКОНЧЕННОГО МАРШРУТА

Парк может находиться рядом с жильём и оставаться неудобным для повседневной прогулки. Между домом и зелёной территорией бывает достаточно одного непроходимого места: улицы без подходящего перехода, закрытого входа или оборванной дорожки. В такой ситуации строительство ещё одного благоустроенного отрезка не обязательно приближает человека к месту отдыха. Значение имеет возможность пройти весь путь.

В статье предлагается сравнивать проекты по тому, какой законченный маршрут они создают: от жилой территории через необходимые переходы и входы до места рекреации. Под законченным понимается путь, по которому можно пройти без разрыва и который соответствует условиям использования территории. Отдельный отрезок рассматривается как часть этого пути. Такое представление позволяет объяснить выбор первой очереди строительства ещё до сложных расчётов.

Сетевой подход к зелёной инфраструктуре [1] и системное понимание ландшафтно-рекреационной среды [2] связывают отдельные территории с организацией города в целом. Значение планировочных связей раскрывается и в исследовании рекреационных пространств Белгорода [3]. Однако сама линия между зелёными участками ещё не

описывает доступность для человека. В исследованиях транспортной доступности оценивается возможность достичь нужного места [7], а не только протяжённость путей.

Для наглядного сравнения рассмотрена условная ситуация: жилой квартал отделён от парка улицей, а в ограждении парка отсутствует вход со стороны квартала. Подходящие дорожки по обе стороны улицы существуют. Других способов попасть из этого квартала в парк в пределах рассматриваемой схемы нет. Необходимость перехода и входа принята как исходное условие; речь не идёт об обследованной территории или проектировании конкретного дорожного перехода.

На рисунке 1 показаны четыре состояния одной и той же сети. Сначала путь разорван в двух местах. Затем добавляется только переход, только вход либо оба элемента вместе. В первых двух проектных вариантах посетитель всё ещё встречает преграду. Непрерывная связь с парком появляется только при совместном устройстве перехода и входа. Это можно проверить, проследив линию от жилья до парка, без вычисления показателя доступности.

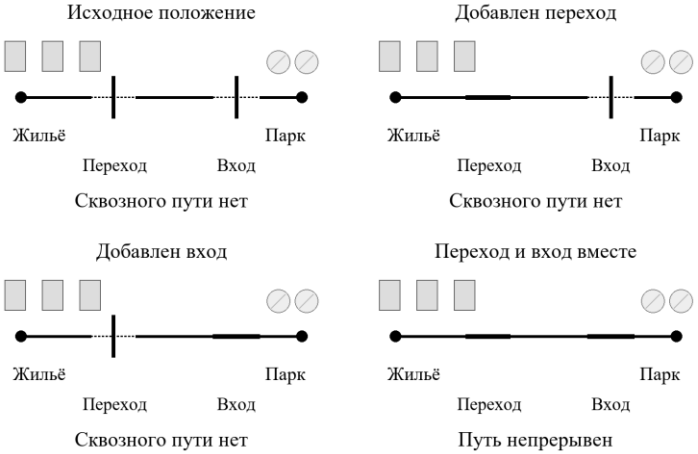


Рис. 1. Завершение пути при двух недостающих элементах (авторские схемы; поперечная черта обозначает разрыв)

Причина различия проста: каждый из двух элементов необходим для одного маршрута, но по отдельности недостаточен. Если сравнивать их независимо, можно не увидеть результата ни у одного и отказаться от полезного сочетания. Поэтому предметом сопоставления должен

стать весь комплект работ, который устраняет разрывы. В него могут входить не только дорожки, но и входная площадка, проход через участок, устройство перехода или изменение режима доступа.

Графовое представление помогает отделить эту задачу от последующего выбора кратчайшего пути. Методы поиска пути, восходящие к работе Э. Дейкстры [6], применимы к сети с определёнными соединениями. Но сначала необходимо установить, какие соединения действительно существуют и доступны посетителю. Если связного пути нет, уточнение длины отдельных отрезков не устраняет основную проблему.

Из сравнения следует правило формирования проектной очереди: её следует оценивать вместе с тем маршрутом, который она завершает, либо с самостоятельной функцией, которую она уже обеспечивает. Например, часть дорожки может обслуживать прогулку внутри жилого квартала и иметь собственную ценность. Но считать её завершённым доступом к парку до устранения остальных разрывов было бы неверно. Это различие важно для поэтапной реализации, когда разные работы выполняются в разное время.

Следующее сравнение касается выбора между двумя законченными связями. Одна создаёт дополнительный подход для квартала, который уже связан с парком. Другая даёт первый подход со стороны ранее отсечённого квартала (рис. 2). Оба решения могут быть полезны, но их результаты различаются: в одном случае улучшается имеющаяся возможность, в другом появляется новая. Назначить приоритет только по длине дорожки в такой ситуации нельзя.

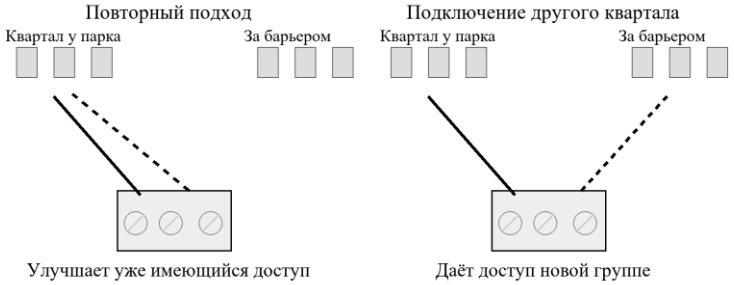


Рис. 2. Повторный подход и подключение другого квартала (сплошная линия — существующий путь, пунктир — проектный)

Идея охвата населения, используемая в задачах размещения объектов [5], помогает сформулировать первый вопрос к этим вариантам: кому станет доступно место отдыха после выполнения

работ. Ответ ещё не определяет лучший проект. Необходимы сведения о числе жителей, характере их передвижения и качестве существующего доступа. Дополнительный подход может быть особенно важен, если прежний маршрут имеет лестницы или значительный обход. Схема выявляет различие задач, но не подменяет их оценку.

Исследования обеспеченности парками показывают, что близость, количество доступного пространства и его качество следует различать [8, 9]. Поэтому при сравнении законченных маршрутов нужно видеть не только новые связи на плане, но и условия в их конечной точке: действительно ли там можно отдыхать, как устроен вход и подходит ли территория предполагаемым пользователям. Более удобный путь к перегруженному или непригодному месту не решает всю задачу рекреационного обеспечения.

Для Старого Оскола такой анализ может начинаться с простой рабочей карты: жилые территории, фактические входы, существующие пешеходные пути и места их разрыва. Средства анализа OpenStreetMap позволяют подготовить основу сети [10], однако обозначенная на карте линия должна быть проверена на возможность прохода. Для каждого предполагаемого маршрута затем составляется перечень недостающих элементов и отмечается, какие из них требуют отдельных исходных данных или согласований.

Экологические ограничения при этом остаются самостоятельным условием. Связь, удобная для пешехода, не обязательно полезна для природной территории: многофункциональность зелёной инфраструктуры требует согласования разных задач [4]. Если законченный маршрут предполагает недопустимый проход через чувствительный участок, увеличение числа потенциальных посетителей не служит основанием для его реализации. Следует рассмотреть другой вход, иной подход или другое место отдыха.

Практический результат работы — переход от списка разрозненных дорожек к сопоставлению законченных маршрутов. На предложенных схемах видно, почему отдельные мероприятия следует объединять, чем новый доступ отличается от повторного и какие вопросы необходимо решить перед выбором очередности. Числовые расчёты сохраняют своё место: они нужны для сравнения длины, времени и затрат после того, как установлены состав маршрута и его допустимость.

Рассмотренные ситуации являются графическими моделями, а не результатами городской апробации. Они подтверждают зависимость

связности от совместного устранения разрывов при заданном устройстве сети, но не доказывают универсального преимущества одного типа благоустройства. Предлагаемый способ анализа может использоваться в первой главе диссертации как основание дальнейшего сравнения проектных решений на конкретных территориях Старого Оскола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Benedict M. A., McMahon E. T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Washington, DC: Island Press, 2006. 320 p.

2. Василенко, Н. А. Системные принципы формирования ландшафтно-рекреационной среды крупного города: автореф. дис. … канд. архитектуры: 18.00.01. М., 2009. 27 с.

3. Ярмош, Т. С. Рекреационные пространства города, их проблемы и перспективы развития (на примере г. Белгорода) / Т. С. Ярмош, Е. И. Максаева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2024. Т. 9, № 5. С. 70–85. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-70-85.

4. Hansen R., Pauleit S. From Multifunctionality to Multiple Ecosystem Services? A Conceptual Framework for Multifunctionality in Green Infrastructure Planning for Urban Areas // Ambio. 2014. Vol. 43, No. 4. P. 516–529. DOI: 10.1007/s13280-014-0510-2.

5. Church R., ReVelle C. The maximal covering location problem // Papers in Regional Science. 1974. Vol. 32, No. 1. P. 101–118. DOI: 10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x.

6. Dijkstra E. W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs // Numerische Mathematik. 1959. Vol. 1. P. 269–271. DOI: 10.1007/BF01386390.

7. Geurs K. T., van Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions // Journal of Transport Geography. 2004. Vol. 12, No. 2. P. 127–140. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005.

8. Parks and People: An Environmental Justice Inquiry in Baltimore, Maryland / C. G. Boone, G. L. Buckley, J. M. Grove, C. Sister // Annals of the Association of American Geographers. 2009. Vol. 99, No. 4. P. 767–787. DOI: 10.1080/00045600903102949.

9. Rigolon A. A complex landscape of inequity in access to urban parks: A literature review // Landscape and Urban Planning. 2016. Vol. 153. P. 160–169. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.05.017.

10. Boeing G. OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks // Computers, Environment and Urban Systems. 2017. Vol. 65. P. 126–139. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004.

УДК 667.61

Маркин А.М., Баринов Р. А., Лупандин А.В.
Научный руководитель: Городов А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ

Современные материалы и конструкции, эксплуатируемые в условиях интенсивного солнечного излучения, подвергаются необратимой деградации под воздействием ультрафиолетового (УФ) спектра. Фотохимическое разрушение проявляется в потере механической прочности, растрескивании, выцветании и снижении функциональных свойств полимеров, композитов и даже некоторых металлов. Ультрафиолетовому излучению подвергаются материалы как на Земле, так и в космическом пространстве. При этом в условиях космоса воздействие УФ-излучения является гораздо более агрессивным, что обусловлено экстремальными перепадами температур, глубоким вакуумом и воздействием набегающего потока атомарного кислорода (кислородной плазмы). Очевидно, что разработка и применение эффективных защитных материалов и покрытий напрямую зависит от условий эксплуатации материала. Наибольшей сложностью характеризуется создание материалов для космической техники, поскольку именно к ним предъявляются самые жёсткие требования, обусловленные экстремальными факторами космического пространства [1-2].

Среди основных методов защиты от УФ-излучения выделяют экранирование (за счет отражения или рассеивания энергии УФ-квантов), поглощение (за счет превращения в другие виды энергии, например, тепловую) и стабилизация (за счет применения химических веществ, предотвращающих разрушение материала под действием УФ-квантов, но не взаимодействующий с самим излучением). Современные защитные материалы от ультрафиолетового излучения создаются на основе комбинации физических и химических механизмов,

позволяющих не только предотвратить разрушение поверхности, но и повысить срок службы изделий в экстремальных условиях эксплуатации [3-5].

Перспективными материалами являются наноструктурированные оксиды металлов, кремнийсодержащие соединения, гибридные полимеры и другие функциональные добавки. Некоторые термостойкие полимеры (полиимид, фторопласт) и композиционные материалы на их основе широко используются для создания защитных элементов космической аппаратуры. Однако на низкой околоземной орбите набегающий поток кислородной плазмы приводит к значительным повреждениям полимерных конструкций. Для защиты полимерных изделий на низкой околоземной орбите используют различные приемы. Например, канадской компанией Integrity Testing Laborator, Inc разработано защитное керамическое покрытие, наносимое на изделия космического назначения (Photosil™), позволяющее материалу противостоять набегающему потоку атомарного кислорода. Однако данная технология сложна в изготовлении.

Неорганические защитные материалы на основе наночастиц оксидов титана (TiO_2) и цинка (ZnO), обладающих высокой оптической плотностью и широкой запрещённой зоной (3,2–3,4 эВ), эффективно блокируют фотоны с длиной волны до 380 нм [4]. Для повышения стабильности и снижения фотокаталитической активности их поверхность модифицируют кремнезёмом или органосиланами, что предотвращает образование активных радикалов и делает такие покрытия безопасными при работе с биологическими объектами [4-6].

Несмотря на то, что кремнезём (SiO_2) применяется для снижения фотокаталитической активности TiO_2 и ZnO, сам он не является активным УФ-поглотителем, так как имеет высокую прозрачность и повышенную стойкость к данному виду излучения. Поэтому для создания УФ-защитных материалов на основе мезопористого аморфного кремнезёма необходимо дополнительно вводить поглощающие УФ-излучение вещества. Благодаря развитой пористой структуры SiO_2 в матрице равномерно распределяются органические УФ-абсорберы, которые препятствуют фотодеструкции материала. В качестве органических УФ-абсорберов, адсорбирующихся в порах кремнезёма, применяются соединения классов бензофенонов, бензотриазолов, циннаматов, салицилатов и триазинонов. Эти соединения содержат хромофорные группы, способные селективно поглощать УФ-излучение в диапазонах UV-A и UV-B [3, 7].

Другим перспективным методом является введение кристаллического кремния внутрь полимера или создание защитных кремний-содержащих покрытий. Такие материалы, помимо стойкости к УФ-излучению, обладают повышенной стойкостью к потоку атомарного кислорода, так как Si играет главную роль в создании на поверхности стабильных защитных структур. Улучшенная сопротивляемость этих материалов к набегающему потоку атомарного кислорода основана на образовании на поверхности материала микро- и наночастиц оксида кремния в виде тонкопленочного покрытия, создающего защитный экран от окисления глубинных слоев полимерного композита. При уменьшении размеров частиц до 2–3 нм ширина запрещённой зоны увеличивается, что обеспечивает эффективное поглощение излучения с длиной волны до 400 нм. Энергия УФ-промежутка преобразуется в тепло, не вызывая фотохимических реакций и разрушения материала [6-8]. Таким образом наночастицы кремния поглощают ультрафиолетовые фотоны за счёт квантово-размерных эффектов. В отличие от TiO_2, нанокремний не проявляет фотокаталитических свойств, что делает его безопасным для косметических и биосовместимых применений.

В качестве стабилизаторов – веществ, предотвращающих разрушение материала под ультрафиолетовым воздействием, используют различные органические системы: SLN, NLC, липосомы. Они не блокируют излучение напрямую, а создают тонкий слой на поверхности полимера, предотвращающий его разрушение под действием УФ-света. В результате повышается срок службы материалов и устойчивость к климатическим воздействиям [5, 9-10]. Однако в условиях высокого вакуума данные вещества не применимы, так как происходит выделение газа (дегазация) не только с поверхности материала, но и из его общего внутреннего объема. Дегазация вызывает колоссальные изменения в сторону ухудшения свойств материала при его эксплуатации. В результате газовыделения полимерного композиционного материала в условиях космического пространства создается дополнительная проблема – в результате удаления летучих веществ из композита происходит загрязнение поверхности бортовой аппаратуры, к которым относятся поверхности оптической системы управления, элементы солнечных батарей и других важных деталей космических систем. Это обуславливается тем, летучие вещества, выделенные из полимерных композитов, конденсируются на поверхностях космического аппарата, которые имеют чувствительность к загрязнениям.

Гибридные нанокомпозиты (МСС@TiO_2, SunSpheres, органосиликатные структуры) объединяют несколько принципов защиты — рассеяние, поглощение и стабилизацию. В таких системах целлюлозная или полимерная матрица обеспечивает механическую прочность, а наночастицы TiO_2 усиливают УФ-барьер за счёт многократного рассеяния света. Применение органосиликатных связок способствует повышению адгезии и устойчивости к старению покрытий, что особенно важно для текстиля, архитектурных плёнок и солнечных панелей [9-11]. Однако данные материалы в агрессивных условиях космического пространства также способны к выделению газа.

Таким образом, для достижения максимальной устойчивости материалов к ультрафиолетовому излучению целесообразно совместить несколько принципов защиты: экранирование, поглощение и стабилизацию в единой системе. Наиболее перспективно применение нанораразмерных частиц кремния в органосиликатных связках. В настоящее время нами получено покрытие, состоящее из наноразмерных кристаллов кремния, на полиимидной подложке. Нанодисперсный кристаллический кремний получен по технологии «bottom-up» за счет лазерного воздействия. Исследования будут продолжены по определению стойкости полученных покрытий к вакуумному ультрафиолету.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черкашина Н.И, Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближённых к условиям околоземного космического пространства // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 129.

2. Павленко В.И., Черкашина Н.И., Ручий А.Ю., Домарев С.Н., Форова Е.В. Влияние вакуумного ультрафиолетового излучения на изменение инфракрасных фурье-спектров поглощения, электрических и гидрофобных свойств композита на основе полиимидных трековых

мембран, заполненных кремнеземом // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2024. № 9. С. 25–34.

3. Сивко Н. И. Увиолевые материалы и технологии их получения // Сборник научных трудов. – 2018. – 24 с.

4. Belogorokhov A. M., Es'kova E. A., Isaev V. A., Ishchenko A. V., Storozhenko P. A., Tutorskii I. V. Nanocrystalline silicon as a component of photoprotective compositions // Nanoindustry. – 2019. – No. 1. – P. 38–40.

5. Курбатов В. А. Использование щёлочногалоидных кристаллов в качестве дозиметра ультрафиолетового излучения (УФИ) при защите их от влаги // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 11. – С. 164–167. – DOI: 10.18411/trnio-11-2022-322.

6. Saha B., Saha A., Das P., Kakati A., Banerjee A., Chattopadhyay P. Review of ultraviolet protective textiles: material design and performance factors // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, e40027.

7. Zhang H., Cheng X., Liu C., Liu Z., Liu L., Feng C., Ju J., Yao X. Ultraviolet-blocking polymers and composites: recent advances and future perspectives // Journal of Materials Chemistry A. – 2024. – Vol. 12. – P. 32638-32664. – DOI:10.1039/D4TA06335J.

8. Kim T. H., Park S. H., Lee S., Bharadwaj A. V. S. L. S., Lee Y. S., Yoo C. G., Kim T. H. A Review of Biomass-Derived UV-Shielding Materials for Bio-Composites // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – Article 2231. – DOI:10.3390/en16052231.

9. Черкашина Н.И., Павленко А.И. Исследование механизмов модифицирования поверхности гидрида титана органосилоксановыми структурами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 164-168.

10. Attia N. F., Osama R., Elashery S. E. A., Kalam A., Al-Sehemi A. G., Algarni H. Recent advances of sustainable textile fabric coatings for UV protection properties // Coatings. – 2022. – Vol. 12, No. 10. – Article 1597. – DOI:10.3390/coatings12101597

11. Прут Э. В., Черкашина Н.И., Ястребинская А.В. Разработка полимерных композиционных материалов на основе термопластичных эластомеров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 195-199. – DOI 10.12737/22761.

УДК 004.8

Мартенюк А.В.
Научный руководитель: Коршак К.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ OPEN-SOURCE И PROPRIETARY LLM К СОСТЯЗАТЕЛЬНЫМ ПРОМПТАМ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ КОДА НА PYTHON

Инструктивно-настроенные большие языковые модели для кода стали неотъемлемой частью современного программного инжиниринга. Они применяются в автодополнении, генерации функций по текстовому описанию, автоматическом рефакторинге и анализе уязвимостей. Однако их рост практического использования опережает понимание того, насколько надёжно такие модели сохраняют функциональную корректность и безопасность генерируемого кода при отклонении входных промптов от “идеальных” формулировок.

Особую озабоченность вызывает тот факт, что пользователи – разработчики – формулируют задачи неформально: с опечатками, синонимичными заменами, перестановками слов, скрытыми Unicode-символами или намеренно искажёнными условиями. Если модель чувствительна к таким пертурбациям, она может генерировать код, который либо не проходит тесты, либо содержит уязвимости, либо делает и то и другое одновременно. Следует отметить, что в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова ведутся исследования в области нейросетевых моделей и машинного обучения [6][7], что создаёт предпосылки для развития работ по устойчивости языковых моделей.

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу устойчивости open-source и proprietary LLM именно в задачах генерации кода Python. Выбор языка обусловлен его популярностью и из этого доминированием в статистике ИИ-генерируемого кода и повышенной частотой уязвимостей: по данным крупномасштабного анализа публичных репозиториев, доля уязвимого Python- кода в ИИ-атрибутированных фрагментах - 16,18–18,50%, что существенно выше, чем по сравнению с JavaScript (8,66–8,99%) и TypeScript (2,50–7,14%).

Существующие сравнительные исследования устойчивости Code LLM либо сосредоточены на общих бенчмарках без изоляции языка

программирования, либо не учитывают методы secure code generation как отдельный фактор. В результате остаётся неясным: сохраняется ли разрыв между open-source и proprietary моделями при переходе от “сырых” моделей к моделям, которые оснащены механизмами безопасной генерации. И какие типы пертурбаций представляют наибольшую угрозу именно для Python-задач. В связи с этим были сформулированы следующие вопросы:

1. Какова относительная устойчивость open-source и proprietary Code LLM к состязательным промптам при генерации кода на Python, и сохраняется разрыв при применении методов secure code generation?

2. Какие типы пертурбаций наиболее эффективно снижают безопасность и функциональную корректность Python-кода, и различается ли такая эффективность между группами моделей?

3. Связаны ли “сырая” устойчивость модели с её устойчивостью после применения методов secure code generation, или эти методы формируют независимый слой защиты?

Основу сравнительного анализа составляет работа Имрана Хоссена и Сиали Хэя [1], представивших DegradePrompter. Это метод систематической оценки устойчивости инструктивно-настроенных Code LLM к разнообразным входным вызовам. В экспериментах на пяти open-source и трёх proprietary моделях было зафиксировано падение функциональной корректности в диапазоне от 12 до 34% для open-source моделей и от 3 до 24% для proprietary. Результат задаёт базовую линию для первого вопроса.

Таксономический подход к классификации состязательных атак предложен Лю Яном и соавторами [4]. Атаки упорядочиваются по двум измерениям — типу контента и гранулярности. Вывод их исследования заключается в том, что word-level пертурбации оказываются наиболее опасными, а sentence-level встречают наибольшую устойчивость со стороны LLM4Code. Этот вывод уместен второму вопросу.

Отдельный вектор атак связан с автоматическим сбором контекста ИИ-ассистентами. Атака XOXO [2] эксплуатирует эту особенность: семантически сохраняющие трансформации в общем коде заставляют ассистента рекомендовать уязвимые паттерны другим пользователям. Средняя успешность таких атак составила 73.2% против восьми современных моделей, а уровень инъекции уязвимостей достигал около 66.7%. Это показывает, что proprietary-модели не являются неуязвимыми, даже если превосходят открытые по “сырой” устойчивости.

Наконец, аудит методов secure code generation [3][5] (Sven, SafeCoder, PromSec) выявил большой разрыв между заявленной и фактической безопасностью. Статические анализаторы переоценивают безопасность в 7 - 21 раз; 37 - 60% выводов, помеченных как «безопасные», оказываются нефункциональными; под состязательными промптами доля одновременно безопасного и функционального кода падает до 3 - 17%. Этот результат принципиален для третьего вопроса: он ставит под сомнение саму идею «безопасной» модели как отдельного класса.

Для сравнительного анализа были предложены следующие конфигурации.

Были включены следующие модели: Open-source: CodeLlama-13B-Instruct, DeepSeek-Coder-6.7B-Instruct, CodeQwen-1.5-7B-Chat, Llama-3-8B-Instruct; Proprietary: GPT-4o, Claude 3.5 Sonnet, Gemini 1.5 Pro. Такой набор использовался в DegradePrompter и XOXO, что обеспечивает сопоставимость результатов.

Использовались такие типы пертурбаций как: Character-level (Символьный) - невидимые Unicode-символы, перестановка символов в идентификаторах и др.; Word-level (Словесный) - синонимические замены в описании задачи, инверсия ключевых терминов, вставка семантически нейтральных отвлекающих слов и др.; Sentence-level (Предложения) - перефразирование условия, изменение порядка предложений, добавление контекстуальных шумов и др. Классификация опирается на таксономию Лю Яна и соавторов [4].

Проведены тесты по следующим бенчмаркам. Для оценки функциональной корректности: HumanEval+ и MBPP+ - расширенные версии стандартных наборов с дополнительными граничными тестами. А для оценки безопасности - подвыборка задач: распространённые CWE-категории для Python: CWE-78, CWE-89, CWE-502.

Тесты измерялись по следующим метрикам. По функциональной корректности: Pass@1 (доля задач, прошедших все тесты), CodeBLEU (семантическое сходство с эталоном). По безопасность: SecureRate (доля выводов без обнаруженных уязвимостей по данным комбинированного статического анализа и ручной валидации), SecurePass@1 (совместная метрика - код одновременно проходит тесты и не содержит уязвимостей). По устойчивости: CDRA (Code Degradation Rate under Attack – оценка относительного падения Pass@1 при переходе от чистого промпта к состязательному); ASR (Attack Success Rate - доля случаев, когда промпт привёл к генерации уязвимого или неверного кода).

Использовались следующие инструменты анализа: CodeQL, Semgrep и Bandit. Ручная валидация подвыборки не менее 10% выводов как основная истина. Это необходимо, поскольку, как показано в аудите secure code generation[3], статические анализаторы систематически переоценивают безопасность.

На основе полученных данных можно сформулировать две гипотезы:

1. Proprietary-модели демонстрируют статистически значимо меньшее падение Pass@1 под состязательными промптами, чем open-source сопоставимого размера, что согласуется с базовыми данными DegradePrompter. А методы secure code generation сокращают разрыв в показателе SecureRate, но не в SecurePass@1. Под состязательными промптами доля безопасного и функционального кода остаётся примерно одинаково низкой для обеих групп моделей. (Табл. 1)

Таблица 1 – Сводная таблица по метрикам

Критерий	Open-source	Proprieary
Падение функциональной корректности DegradePrompter	12 - 34%	3 - 24%
Средний процент отказов MOCHA [5]	2.5 - 49%	13 - 54.5%
Уязвимость к XOXO (ASR)	Высокая (73%)	Высокая (73%)
Доступность secure code generation	SVEN, SafeCoder, PromSec	PromSec
Прохождение SecurePass@1	3 - 17%	3 - 17%

2. Word-level пертурбации наиболее опасны для всех моделей, а sentence-level наоборот, наименее опасны. Этот паттерн устойчив для Python-задач, поскольку семантические сдвиги на уровне отдельных слов непосредственно затрагивают спецификацию алгоритма, тогда как простое перефразирование условия в большинстве случаев сохраняет его логическую структуру. (Табл. 2)

Таблица 2 – Таксономия состязательных атак по гранулярности

Тип пертурбации	Устойчивость	Характер воздействия
Sentence-level	Наибольшая	Модели сохраняют целостность кода при широких контекстных изменениях
Word-level	Наименьшая	В моделях наблюдаются семантические сдвиги на уровне отдельных слов

Character-level	Средняя	Модели показывают сильные и слабые стороны при незначительных синтаксических отклонениях

Из этого можно сделать вывод, что разрыв в устойчивости между open-source и proprietary LLM при генерации Python-кода является воспроизводимым эффектом, но он не исчезает полностью при использовании методов secure code generation и не гарантирует абсолютной защищённости коммерческих моделей. Наиболее уязвимым классом пертурбаций для Python-задач являются word-level. Практическая значимость работы состоит в том, что она даёт разработчикам ориентир: при выборе модели для задач, где безопасность критична, одного размера или “коммерческого” статуса недостаточно. Необходима проверка устойчивости именно на том языке и типе промптов, которые будут использоваться в реальном рабочем процессе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hossen M.I., Hei X. On the Adversarial Robustness of Instruction-Tuned Large Language Models for Code // arXiv preprint arXiv:2411.19508. —2024.

2. Štorek A., Gupta M., Bhatt N. et al. XOXO: Stealthy Cross-Origin Context Poisoning Attacks against AI Coding Assistants // Proceedings of the 64th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). — San Diego, California, USA, 2026. — P. 11350–11373.

3. Tessa M., Olatunji I.E., War A. et al. How Secure is Secure Code Generation? Adversarial Prompts Put LLM Defenses to the Test // arXiv preprint arXiv:2601.07084. — 2026.

4. Liu Y., Foundjem A., Khomh F., Li H. Adversarial attack classification and robustness testing for large language models for code // Empirical Software Engineering. — 2025. — Vol. 30, art. 154.

5. Wahed M., Zhou X., Nguyen K.A. et al. MOCHA: Are Code Language Models Robust Against Multi-Turn Malicious Coding Prompts? // Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025. — Suzhou, China, 2025. — P. 22922–22948.

6. Применение искусственных нейронных сетей для прогнозирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2024. — № 11.

7. Жданова С.И., Программная реализация интеллектуальной системы семантических рекомендаций книг / С.И. Жданова, Н.И.

Путилин // [сайт]. — 2026. — 18 мая. — URL: http://www.birskin.ru

УДК 004.63:004.65

Мироненко И.А.
Научный руководитель: Крюков А. В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В условиях быстрого развития информационных технологий и увеличения объемов обрабатываемой информации особую значимость приобретают вопросы эффективной организации хранения, обработки и управления данными [1]. Современные информационные системы функционируют в условиях необходимости обеспечения быстрого доступа к информации, поддержания ее целостности, защиты от несанкционированного доступа и возможности дальнейшего масштабирования. При этом выбор способа организации хранения данных является одним из ключевых факторов, определяющих архитектуру, производительность, надежность и сложность сопровождения разрабатываемого программного обеспечения.

Одним из традиционных подходов к организации хранения информации является использование отдельных файлов различных форматов, содержащих структурированные или неструктурированные данные. Файловый подход предполагает непосредственное взаимодействие программного обеспечения с файловой системой посредством операций чтения, записи и модификации данных. Его преимуществами являются относительная простота реализации, отсутствие необходимости использования специализированного программного обеспечения для управления базами данных, а также возможность применения в небольших информационных системах с ограниченным объемом информации и относительно простой структурой взаимосвязей между данными. Вместе с тем по мере усложнения информационной системы и увеличения объемов обрабатываемых данных могут возникать трудности, связанные с обеспечением согласованности информации, организацией многопользовательского доступа, выполнением сложных запросов и поддержанием целостности данных.

Альтернативным подходом является использование баз данных (БД), управление которыми осуществляется посредством систем управления базами данных (СУБД). Применение СУБД позволяет реализовать механизмы структурированного хранения информации, управления взаимосвязями между отдельными информационными объектами, выполнения запросов, контроля целостности и разграничения прав доступа. Кроме того, современные СУБД предоставляют средства управления транзакциями, индексирования, резервного копирования и восстановления данных [2, 3]. Однако использование данного подхода может сопровождаться дополнительными требованиями к проектированию структуры данных, настройке программного окружения и администрированию системы.

В связи с этим актуальной научно-практической задачей является сравнительный анализ файлового подхода и подхода, основанного на использовании БД и СУБД, с целью выявления их функциональных особенностей, преимуществ, ограничений и определения условий целесообразного применения. Проведение такого анализа позволяет сформировать обоснованные рекомендации по выбору механизмов хранения данных при проектировании информационных систем различного назначения.

Для проведения сравнительного анализа методов организации хранения и обработки данных рассмотрим фрагмент информационной системы, предназначенной для учета товаров, клиентов и заказов.

Рассматриваемая предметная область относится к классу систем автоматизации торговли и электронной коммерции. Ее основой выступает процесс оформления и сопровождения заказов, вокруг которого выстраиваются взаимосвязи между клиентами, товарной номенклатурой и финансовыми операциями. Клиент, инициирующий заказ, выступает ключевым субъектом области; система хранит его контактные данные и допускает произвольное число заказов на одного клиента, что отражает долгосрочный характер взаимодействия.

Центральной сущностью является заказ. В нём хранятся следующие данные: дата оформления, статус, итоговая сумма, а также товары, у каждого из которых есть определенные категории, при этом один и тот же товар может встречаться в разных заказах несколько раз. Деньги проходят через платежи, которых тоже может быть несколько, и для каждого из них важно записать сумму, способ оплаты и время.

Логическая модель данных такой информационной системы учета товаров и заказов может быть представлена на рисунке 1. Данная структура характеризуется наличием нескольких взаимосвязанных

объектов, что делает ее удобной для анализа различных подходов к хранению данных.

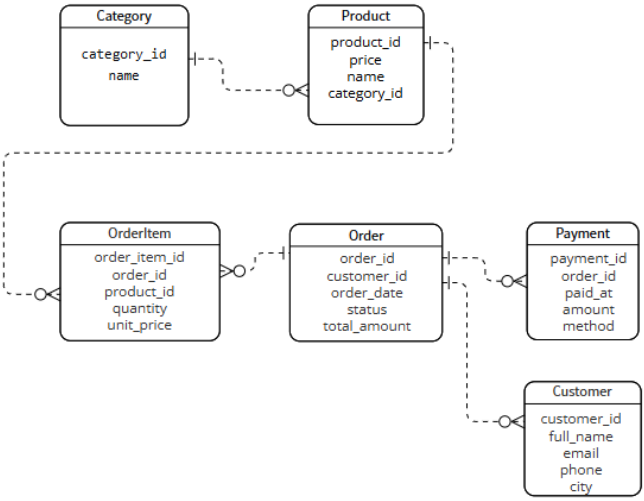


Рис. 1. Логическая модель данных информационной системы учета товаров и заказов

Данная структура обеспечивает целостность данных, позволяет формировать различные аналитические отчеты и поддерживает процессы магазина: оформление заказа, учёт оплат, управление каталогом и клиентской базой.

Из этого следует, что предметная область характеризуется развитой системой логических связей между отдельными её сущностями. Подобная структура может быть полезна для широкого класса информационных систем, связанных с автоматизацией торговли, складского учета и обслуживания клиентов, и может рассматриваться как пример для сопоставления различных подходов к организации хранения и обработки данных.

При использовании СУБД каждая сущность представляется отдельной таблицей, а связи между ними определяются при помощи первичных и внешних ключей. Такой подход обеспечивает структурированное хранение, поддержание ссылочной целостности и удобное выполнение сложных запросов, объединяющих данные из нескольких таблиц.

При файловом подходе информация может быть распределена по нескольким отдельным файлам, например по файлам товаров, клиентов, заказов и оплат. Однако в этом случае логические связи между объектами не поддерживаются автоматически и должны обрабатываться на уровне прикладной программы. Это усложняет выполнение операций поиска, обновления и контроля согласованности данных.

Все задачи при файловом хранении решаются по одной и той же схеме: приложение считывает нужные файлы целиком или построчно, фильтрует строки по значениям идентификаторов, сопоставляет данные из разных файлов по этим идентификаторам и выполняет агрегацию или сортировку уже в памяти. Если файл большой, необходимо либо строить индекс в памяти, либо разбивать файл на части. Иными словами, каждое соединение, каждая группировка и каждая проверка ссылочной целостности реализовывается отдельно, а не описываются декларативно, и каждая новая задача требует нового прохода по данным или нового индекса.

На примере данной структуры можно сделать вывод, что при наличии взаимосвязанных сущностей и необходимости комплексной обработки информации использование СУБД является более эффективным и надежным решением по сравнению с хранением данных в отдельных файлах.

Анализу также подвергались и различные другие предметные области. Примеры показывают, что оба подхода позволяют организовать хранение данных одной и той же предметной области, однако существенно различаются по своим функциональным и эксплуатационным характеристикам.

Файловый подход может применяться в рамках небольших систем, где сценарии обработки информации отличаются простотой, объемы данных невелики, а взаимосвязи между сущностями носят ограниченный характер. К его достоинствам можно отнести легкость реализации и отсутствие необходимости развертывания и администрирования СУБД. Однако, по мере усложнения структуры данных существенно возрастает трудоемкость сопровождения, а также повышается риск утратой целостности информации.

Для систем, ориентированных на хранение взаимосвязанных данных, обеспечение их целостности и выполнение сложных запросов, применение баз данных представляется более предпочтительным решением.

Однако, несмотря на распространение технологий баз данных, файловый подход также не утрачивает своей актуальности при разработке программного обеспечения. Выбор в пользу того или иного подхода должен опираться на специфике решаемой задачи, характере и объеме обрабатываемой информации и перспективам дальнейшего развития информационной системы.

Полученные в ходе данного исследования результаты могут применяться при проектировании различных информационных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов, С. Д. Основы баз данных : учебное пособие / С. Д. Кузнецов. — 2-е изд., испр. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 484 с.

2. Новиков, Б. А. Сравнительный анализ производительности SQL и NoSQL СУБД / Б. А. Новиков, М. Ю. Левин // Компьютерные инструменты в образовании. — 2017. — № 4. — С. 48–63.

3. Крюков, А. В. Исследование приемов оптимизации программного кода по затратам процессорного времени / А. В. Крюков, А. К. Трикула // Международная конференция "Актуальные проблемы робототехники и автоматики", Белгород, 08–09 октября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. — С. 109–113.

УДК 681.5:004.387

Митюков А.Е., Чувилин К.В., Башков Д.Р.
Научный руководитель: Бушуев Д.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШАТЕЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Стандартными методами решения дифференциальных уравнений (ДУ) являются аналитический и численный расчеты. Но существует другой подход – аналоговое моделирование, при котором исследуемый процесс воспроизводится непосредственно электронной схемой. Такие

устройства, известные как аналоговые вычислительные машины (АВМ), позволяют наблюдать решение в реальном времени, исследуя влияние параметров системы без необходимости программирования.

Настоящая статья посвящена разработке, экспериментальной настройке и верификации схемы решателя ДУ первого порядка на операционных усилителях (ОУ).

Объектом исследования выбрано уравнение вида:

$$\frac{dx}{dt} = -kx + A\sin(\omega t). \quad (1)$$

Выбор уравнения обусловлен наличием аналитического решения, необходимого для количественной проверки схемы.

Уравнение (1) описывает динамическую систему с отрицательной обратной связью (ОС) $-k$ и внешним гармоническим воздействием $A\sin(\omega t)$. Аналитическое решение (1) в установившемся режиме имеет вид:

$$x(t) = \frac{A}{\sqrt{k^2+\omega^2}}\sin(\omega t - \varphi), \quad (2)$$

где

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{\omega}{k}, \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f. \quad (4)$$

Таким образом, выходной сигнал представляет собой синусоиду той же частоты ω, что и входное воздействие, но с амплитудой, уменьшенной в $\frac{\sqrt{k^2+\omega^2}}{A}$ раз, и с фазовым запаздыванием φ.

Целью работы является разработка электронной схемы, выходное напряжение которой удовлетворяет уравнению (1).

Для решения уравнения вида (1) необходимо непрерывно вычислять правую часть и интегрировать результат. На основе этого подхода была разработана принципиальная электрическая схема решателя (рис. 1) [1].

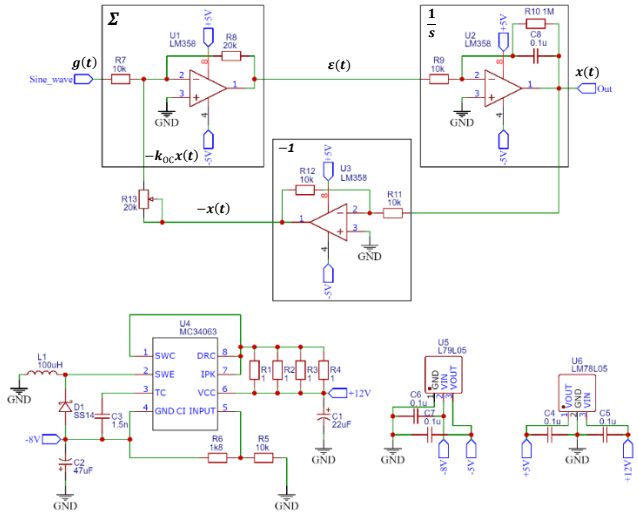


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема решателя ДУ первого порядка

Схема реализована на трех ОУ (U1-U3) LM358 с двуполярным питанием ±5 В. Указанные напряжения формируются от внешнего источника +12 В с помощью импульсного преобразователя MC34063 и линейных стабилизаторов 78L05, 79L05.

ОУ1 включен по схеме инвертирующего сумматора. На его инвертирующий вход через резистор R_7 подается внешний сигнал $g(t) = \sin t$, а через резистор R_{13} – сигнал ОС $-x(t)$. Неинвертирующий вход подключен к общей шине (GND). Выходное напряжение ОУ1 определяется уравнением:

$$\varepsilon(t) = -\left(\frac{R_8}{R_7}g(t) - \frac{R_8}{R_{13}}x(t)\right). \quad (5)$$

С учетом выбранных номиналов резисторов выражение (5) принимает вид:

$$\varepsilon(t) \approx -2\sin t + 1{,}82x(t), \quad (6)$$

данное напряжение подается на вход ОУ2. В результате на выходе ОУ1 формируется сигнал, пропорциональный правой части ДУ.

ОУ2 включен по схеме инвертирующего интегратора [2]. На его инвертирующий вход через резистор R_9 подается сигнал $\varepsilon(t)$ с выхода ОУ1. Между выходом ОУ2 и его инвертирующим входом включены параллельно конденсатор C_6 и резистор R_{10}, который предотвращает дрейф интегратора. Резистор R_9 совместно с конденсатором C_6 задают

постоянную времени интегрирования $\tau^* = R_9C_6$. Неинвертирующий вход подключен к общей шине (GND). Выходное напряжение ОУ2 определяется уравнением:

$$x(t) = -\frac{1}{\tau^*}\int \varepsilon(t)dt. \quad (7)$$

С учетом выбранных номиналов резистора и конденсатора выражение (7) принимает вид:

$$x(t) = -1000\int \varepsilon(t)dt, \quad (8)$$

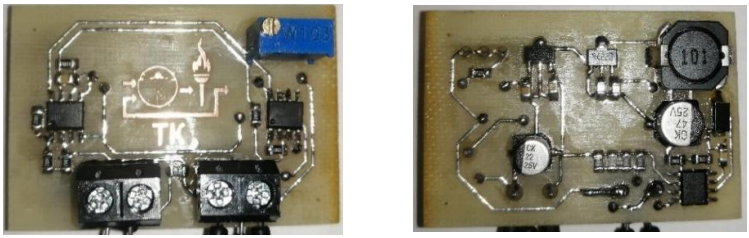
данное напряжение подается на вход ОУ3. Выходной сигнал *x(t)* интегратора является решением ДУ, а его производная пропорциональна входному сигналу *ε(t)* с коэффициентом –1000. Большой коэффициент интегрирования обеспечивает быструю реакцию схемы и корректное формирование выходного сигнала *x(t)*.

ОУ3 включен по схеме инвертирующего усилителя. Резисторы R_{11} и R_{12} задают коэффициент усиления -1. Неинвертирующий вход подключен к общей шине (GND). Следовательно, ОУ3 инвертирует выходной сигнал интегратора *x(t)*, чтобы на вход ОУ1 подавался сигнал *–x(t)*, это необходимо для обеспечения отрицательной ОС.

Потенциометр R_{13} позволяет регулировать глубину ОС, обеспечивая устойчивую работу схемы и требуемое соотношение амплитуд входного и выходного сигналов:

$$k_{\text{ОС}} = \frac{R_8}{R_{13}}. \quad (9)$$

На основе принципиальной электрической схемы была спроектирована двусторонняя печатная плата, изготовленная методом пленочного фоторезиста (рис. 2).



а) *б)*

Рис. 2. Печатная плата: *а* – верхняя сторона с установленными SMD-компонентами; *б* – нижняя сторона с установленными SMD-компонентами

После изготовления печатной платы и монтажа компонентов была проведена настройка устройства. На вход схемы подавался синусоидальный сигнал частотой f = 400 Гц и амплитудой U_{BX} = 2 В.

Сопротивление R_{13} было подобрано экспериментально и составило 11 кОм – данное значение обеспечивает устойчивую работу всей схемы.

В результате на выходе ОУ2 получен синусоидальный сигнал той же частоты, что и входной, но с амплитудой $U_{ВЫХ}$ = 0,9 В и с фазовым запаздыванием Δt = 0,423 мс относительно входного сигнала (рис. 3).

Период сигнала T при частоте 400 Гц составляет:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{400\ \text{Гц}} = 2{,}5\ \text{мс}. \quad (10)$$

Фазовый сдвиг φ вычисляется по следующей формуле:

$$\varphi = 360° \cdot \frac{\Delta t}{T}. \quad (11)$$

Подставив выражение (10) в (11), получим:

$$\varphi = 360° \cdot \frac{0{,}423\ \text{мс}}{2{,}5\ \text{мс}} \approx 60{,}91°. \quad (12)$$

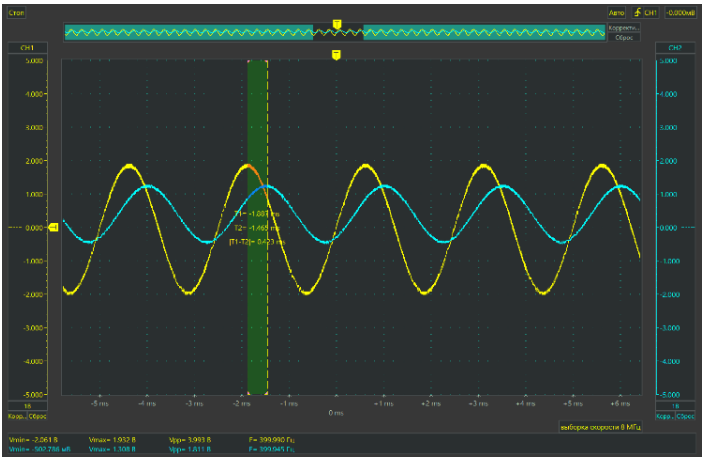


Рис. 3. Осциллограмма входного и выходного сигналов решателя

Проверим экспериментальные результаты с теоретическими расчетами. Определим коэффициенты уравнения (1), моделируемого устройством. Отношение амплитуд сигналов:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{A}{\sqrt{k^2 + \omega^2}} = \frac{0{,}9\ \text{В}}{2\ \text{В}} = 0{,}45. \quad (13)$$

Фазовый сдвиг:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega}{k}. \quad (14)$$

Выразим из (14) коэффициент k:

$$k = \frac{\omega}{tg60{,}9°} \approx \frac{2513\ \text{рад/с}}{1{,}797} \approx 1399\ \text{рад/с}. \quad (15)$$

Выразим из (13) коэффициент A:

$$A = 0.45 \cdot \sqrt{k^2 + \omega^2} \approx 0{,}45 \cdot 2876 \text{ рад/с} \approx 1294 \text{ рад/с}. \quad (16)$$

Таким образом, решаемое уравнение имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = -1399x + 1294 \sin(2513t). \quad (17)$$

Введем безразмерное время τ:

$$\tau = \omega t = 2513t. \quad (18)$$

Тогда:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\tau} \cdot \frac{d\tau}{dt} = \omega \frac{dx}{d\tau}. \quad (19)$$

Подставив выражения (18) и (19) в (17), получим:

$$\frac{dx}{d\tau} = -0{,}56x + 0{,}52 \sin(\tau). \quad (20)$$

Определим расчетное напряжение выходного сигнала $U^*_{ВЫХ}$:

$$U^*_{\text{ВЫХ}} = \frac{A}{\sqrt{k^2 + \omega^2}} \cdot U_{\text{ВХ}} = \frac{0{,}52}{\sqrt{0{,}56^2 + 1^2}} \cdot 2 \text{ В} \approx 0{,}907 \text{ В}. \quad (21)$$

Вычислим расчетный фазовый сдвиг φ^* выходного сигнала относительно входного:

$$\varphi^* = \operatorname{arctg} \frac{\omega}{k} = \operatorname{arctg} \frac{1}{0{,}56} = 60{,}75°. \quad (22)$$

Найдем относительные погрешности δ_U и δ_φ между экспериментальными и теоретическими расчетами:

$$\delta_U = \frac{|U_{\text{ВЫХ}} - U^*_{\text{ВЫХ}}|}{U^*_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\% = \frac{|0{,}9 \text{ В} - 0{,}907 \text{ В}|}{0{,}907 \text{ В}} \cdot 100\% \approx 0{,}77\%. \quad (23)$$

$$\delta_\varphi = \frac{|\varphi - \varphi^*|}{\varphi^*} \cdot 100\% = \frac{|60{,}91° - 60{,}75°|}{60{,}75°} \cdot 100\% \approx 0{,}26\%. \quad (24)$$

Из выражений (23) и (24) видно, что экспериментально полученные параметры с высокой точностью соответствуют решению ДУ (20).

Экспериментально подтверждено, что устройство воспроизводит решение с погрешностью, не превышающей 1%, что находится в пределах погрешности, вносимой реальными компонентами. Преимуществом предложенного подхода является его наглядность и простота настройки, схема может быть легко адаптирована для решения любых уравнений вида (1). В дальнейшем планируется расширить применение устройства для моделирования нелинейных ДУ. Это позволит исследовать автоколебательные режимы и бифуркации в нелинейных системах [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рубанов В. Г. Теория линейных систем автоматического управления. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 208 с. – ISBN 978-5-361-00272-6.

2. Операционные усилители. Часть 3: Вычисление суммы, разности, интеграла и производной на ОУ. [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com (дата обращения: 22.05.26).
3. Ж. Т. Жусубалиев, В. Г. Рубанов, В. С. Титов, О. О. Яночкина. Хаотическая динамика импульсных систем. – Курск; Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 143 с. – ISBN 978-5-361-00611-3.

УДК 624.131

Моляренко Е.В.
Научный руководитель: Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА В КОТЛОВАНАХ ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВОК НИЖЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Подземные парковки в составе жилых и общественных комплексов, как правило, имеют один–три подземных уровня и требуют котлованов глубиной 4–12 м [1]. В городах с высоким уровнем грунтовых вод значительная часть таких котлованов разрабатывается в водонасыщенных грунтах. Несущие конструкции парковок выполняются из монолитного железобетона, и сроки их возведения во многом определяются продолжительностью земляных работ [2].

Разработка грунта ниже уровня грунтовых вод отличается от обычных земляных работ: она возможна только при опережающем водопонижении или под защитой водонепроницаемого ограждения, должна вестись ярусами с последовательной установкой крепления, а грунт в основании необходимо защитить от разуплотнения и размокания. Требования к производству таких работ установлены СП 45.13330.2017 [3], требования к проектированию котлованов и заглублённых сооружений — СП 22.13330.2016 [4] и СП 248.1325800.2016 [5].

Цель работы — рассмотреть технологию разработки грунта в котлованах подземных парковок ниже уровня грунтовых вод, сравнить основные технологические схемы и дать рекомендации по их выбору.

Основные технологические схемы разработки котлованов приведены на рис. 1.

Открытый котлован с откосами (рис. 1, а) разрабатывается без ограждения, а уровень грунтовых вод понижается иглофильтрами или скважинами за пределами котлована. Схема проста и позволяет вести

работы крупной техникой без стеснения, но требует большой свободной площади, увеличивает объём земляных работ и создаёт обширную депрессионную воронку, вызывающую осадки соседних зданий.

Котлован в ограждении с распорками или анкерами (рис. 1, б) разрабатывается внутри водонепроницаемого ограждения («стена в грунте», шпунт, буросекущиеся сваи), заглублённого в водоупор. Откачка воды ведётся только внутри ограждённого контура. Распорки воспринимают давление грунта и воды, но стесняют работу экскаваторов; грунтовые анкеры освобождают котлован, однако выходят за его пределы и не всегда допустимы рядом с фундаментами соседних зданий.

Метод «сверху вниз» (рис. 1, в) предусматривает устройство ограждения и колонн на сваях, бетонирование плиты покрытия, а затем разработку грунта под ней ярусами с последовательным бетонированием промежуточных перекрытий, которые служат распорками. Грунт вынимается через технологические проёмы малогабаритной техникой. Метод обеспечивает наименьшие деформации ограждения, но наиболее трудоёмок.

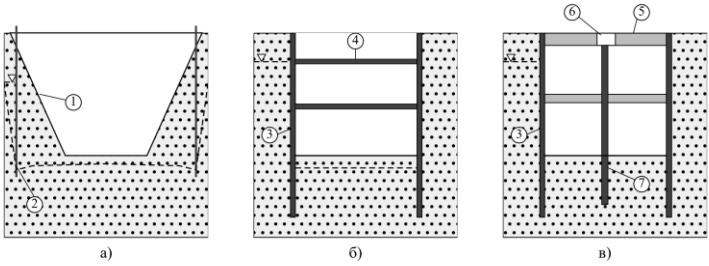


Рис. 1 – Технологические схемы разработки котлованов: а – открытый котлован с откосами; б – котлован в ограждении с распорками; в – метод «сверху вниз»; 1 – откос котлована; 2 – иглофильтры с депрессионной кривой; 3 – водонепроницаемое ограждение; 4 – распорки; 5 – плита покрытия; 6 – технологический проём; 7 – колонна на свае

Независимо от схемы, разработка грунта ниже уровня грунтовых вод выполняется в определённой последовательности (рис. 2):

1. Устройство ограждения котлована и, при необходимости, водопонижающих скважин; пробные откачки и проверка водонепроницаемости ограждения.

2. Опережающее водопонижение: уровень воды внутри котлована понижается не менее чем на 0,5–1,0 м ниже отметки разрабатываемого яруса, чтобы грунт извлекался в осушенном состоянии.

3. Разработка грунта ярусами высотой 2–3 м с устройством крепления (распорок, анкеров) на каждом ярусе. Грунт разрабатывается на 0,5 м ниже отметки крепления, после чего крепление устанавливается до начала разработки следующего яруса.

4. Сбор остаточного притока воды в дренажные канавки и зумпфы с откачкой насосами.

5. Разработка последнего яруса с недобором грунта до проектной отметки; недобор удаляется вручную или малогабаритной техникой непосредственно перед устройством бетонной подготовки.

6. Немедленное устройство щебёночной подушки и бетонной подготовки, защищающих основание от размокания и нарушения структуры, приёмка основания по акту освидетельствования скрытых работ.

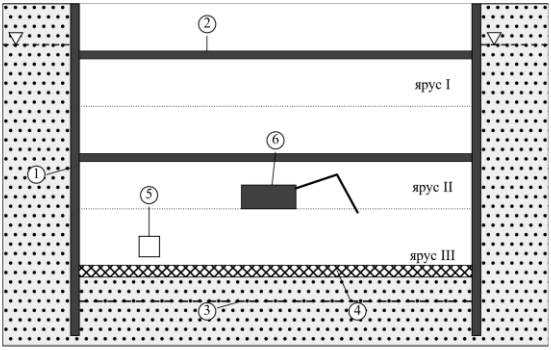


Рис. 2 – Схема ярусной разработки котлована в ограждении ниже уровня грунтовых вод: 1 – водонепроницаемое ограждение; 2 – распорка; 3 – уровень грунтовых вод, пониженный внутри ограждения; 4 – недобор грунта; 5 – зумпф; 6 – экскаватор с обратной лопатой

Для механизации работ применяются экскаваторы с обратной лопатой, в том числе с удлинённой стрелой, работающие с бровки котлована или с отметки нижележащего яруса. В котлованах с распорками и при методе «сверху вниз» используются малогабаритные экскаваторы внутри котлована и грейферные или телескопические экскаваторы для подъёма грунта на поверхность. Грейферы

применяются также при разработке грунта под водой, если осушение котлована невозможно.

Рассмотрим разработку котлована двухуровневой подземной парковки с размерами по дну 60×40 м и глубиной 8,0 м в песке средней крупности при уровне грунтовых вод на глубине 2,0 м. Разработка принята в три яруса (3,0 + 3,0 + 2,0 м) с креплением на отметках –2,5 и –5,5 м.

Объём грунта в ограждённом котловане составляет $V = 60 \cdot 40 \cdot 8{,}0 = 19\,200$ м³. Для открытого котлована с заложением откосов 1:1 размеры по верху составляют 76×56 м, и объём по формуле призматоида:

$$V = h/6 \cdot (F_н + F_в + 4F_{ср}) = 8/6 \cdot (2400 + 4256 + 4 \cdot 3264) \approx 26\,280 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где $F_н$, $F_в$, $F_{ср}$ — площади котлована по низу, по верху и в среднем сечении, м². Таким образом, открытый котлован увеличивает объём земляных работ в 1,37 раза.

Продолжительность разработки определена при работе двух экскаваторов при следующей ориентировочной сменной эксплуатационной производительности одного экскаватора: в открытом котловане — 600 м³; в котловане с анкерным креплением — 500 м³; с распорками — 350 м³ (стеснённые условия); при методе «сверху вниз» — 200 м³ (выемка через проёмы). Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Объём и ориентировочная продолжительность разработки грунта

Схема разработки	Объём, м³	Производительность, м³/смену	Продолжительность, смен
Открытый котлован с откосами	26 280	600	22
Ограждение с анкерами	19 200	500	20
Ограждение с распорками	19 200	350	28
Метод «сверху вниз»	19 200	200	48

Для сопоставления схем с учётом условий городской застройки их характеристики переведены в трёхбалльную шкалу: по каждому показателю схемы ранжированы относительно друг друга (3 — лучшее значение показателя, 2 — среднее, 1 — худшее), все показатели приняты равнозначными (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнительная балльная оценка схем разработки котлована

Показатель	Открытый котлован	Ограж-дение, анкеры	Ограж-дение, распорки	«Сверху вниз»
Объём земляных работ	1	3	3	3
Скорость разработки	3	3	2	1
Влияние на соседние здания	1	2	2	3
Требуемая площадь участка	1	3	3	3
Стоимость крепления	3	2	2	1
Итого	9	13	12	11

Открытый котлован эффективен только на свободной территории без соседней застройки: при наибольшей скорости разработки он требует большой площади и создаёт обширную зону понижения уровня грунтовых вод. В условиях города наиболее рациональна разработка в водонепроницаемом ограждении с анкерным креплением; если устройство анкеров невозможно из-за фундаментов и подземных коммуникаций соседних зданий, применяется распорное крепление. Метод «сверху вниз» требует наибольших затрат времени на земляные работы, но обеспечивает минимальные деформации ограждения и позволяет вести возведение надземной части одновременно с подземной, поэтому применяется в наиболее стеснённых условиях.

При любой схеме понижение уровня грунтовых вод и деформации ограждения влияют на напряжённо-деформированное состояние оснований и конструкций соседних зданий [6], поэтому разработка котлована сопровождается геотехническим мониторингом. Технологические решения по разработке грунта, водопонижению и креплению котлована включаются в проект производства работ [7], а расчёт водопонижения выполняется с учётом времени понижения уровня грунтовых вод [8].

1. Разработка грунта ниже уровня грунтовых вод требует опережающего водопонижения не менее чем на 0,5–1,0 м ниже разрабатываемого яруса, ярусной разработки с последовательной установкой крепления и защиты основания недобором грунта и немедленным устройством бетонной подготовки.

2. Для котлована 60×40×8 м открытая схема увеличивает объём земляных работ в 1,37 раза; ориентировочная продолжительность разработки составляет от 20 смен (ограждение с анкерами) до 48 смен (метод «сверху вниз»).

3. В условиях городской застройки рациональна разработка котлована в водонепроницаемом ограждении с анкерным креплением, а при невозможности анкеров — с распорками; метод «сверху вниз» целесообразен в наиболее стеснённых условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 113.13330.2016. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99*.

2. Семенов А.С., Кузнецов Д.В. Методы повышения эффективности монолитного строительства зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 64–68.

3. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.

4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

5. СП 248.1325800.2016. Сооружения подземные. Правила проектирования.

6. Есипов С.М., Турков А.В., Дьяченко А.Ю., Есипова Д.В. Напряженно-деформированное состояние фундамента в условиях вечной мерзлоты и его влияние на усилия в элементах надземной части здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – Т. 8, № 12. – С. 16–31.

7. Кочерженко В.В. Технология возведения сооружений / В.В. Кочерженко. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010.

8. Гиргидов А.Д. Время понижения уровня грунтовой воды при строительстве котлована // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 4 (30). – С. 52–56.

УДК 536.4:669:004.9

Морозова Е.В., Шиллер М.П., Камалетдинова А.И., Иванова О.С., Дадов К.С.
Научный руководитель: Морозова Е.В., канд. физ.-мат. наук, доц.
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ PYTHON

В материаловедении метод рангового анализа активно используется для характеристики структурной неоднородности материалов [1, с. 112]. Тем не менее, сфера его применения не ограничивается лишь микроструктурой: аналогичный математический инструментарий может быть применён к любым наборам числовых значений, связанных с металлами, включая термодинамические свойства и элементный состав сплавов [2, с. 45]. Справочники по физико-химическим свойствам металлов [3; 4] и марочники сталей [5; 6] содержат обширные таблицы, которые удобно обрабатывать методами ранговой статистики.

Современные инструменты анализа данных, в частности язык Python с библиотеками NumPy, Pandas, Matplotlib и SciPy [7, с. 15–40], позволяют автоматизировать все этапы рангового анализа: от ввода данных до построения графиков и расчета коэффициентов. Цель исследования — продемонстрировать использование рангового анализа для двух видов справочных данных, реализуя статистическую обработку на языке Python: удельная теплоемкость чистых металлов при 25 °C, концентрации легирующих элементов в промышленных сталях.

Теоретические основы рангового анализа

Ранговое распределение. Ранговое распределение предполагает сортировку данных по убыванию и присвоение каждой позиции номера (ранга). Б. И. Кудрин [9] предложил теоретическую модель техноценозов, согласно которой комплексы технических объектов проявляют свойства автономно организующихся структур. Главной особенностью таких систем служит гиперболическое ранговое распределение параметров объектов, описываемое формулой (1):

$$H = \frac{A}{r^{\beta}}, \qquad (1)$$

где r — ранг, H — ранжируемый параметр, A — константа, β — коэффициент, характеризующий крутизну гиперболы [1; 2; 8]. Ценоз трактуется как равновесная система, соответствующая закономерностям гиперболического распределения входящих в её состав элементов [9; 10].

Ранговый анализ теплоемкости металлов

Исходные данные. В таблице приведены округленные значения удельной теплоемкости cp (Дж/(кг·К)) для 20 чистых металлов при 25 °C по справочным данным [3, с. 210–215; 4, с. 88–92] (Табл. 1).

Таблица 1 – Удельная теплоемкость cp (Дж/(кг·К)) чистых металлов при 25 °C [3; 4]

№	Металл	cp	№	Металл	cp	№	Металл	cp
1	Литий (Li)	3582	8	Никель (Ni)	444	15	Вольфрам (W)	132
2	Натрий (Na)	1230	9	Кобальт (Co)	421	16	Свинец (Pb)	128
3	Магний (Mg)	1024	10	Медь (Cu)	385	17	Золото (Au)	129
4	Алюминий (Al)	897	11	Цинк (Zn)	388	18	Платина (Pt)	133
5	Калий (K)	757	12	Серебро (Ag)	235	19	Тантал (Ta)	140
6	Титан (Ti)	523	13	Олово (Sn)	228	20	Рений (Re)	137
7	Железо (Fe)	449	14	Молибден (Mo)	251			

Программная реализация на Python

Листинг 1 – Ранговый анализ теплоемкости металлов

```
import numpy as np, scipy.stats as stats
def rank_analysis(values, label):
s = np.sort(values)[::-1]          # по убыванию
s = s[s > 0]                       # нули исключаются (для Cr)
r = np.arange(1, len(s) + 1)       # ранги
res = stats.linregress(np.log(r), np.log(s))
cv = np.std(values, ddof=1) / np.mean(values)
print(f'{label}: β = {-res.slope:.3f}, R² = {res.rvalue**2:.3f}, '
f'p = {res.pvalue:.1e}, Kv = {cv:.3f}, As = {stats.skew(values):.3f}')
rank_analysis(cp, 'cp')            # cp — 20 значений из табл. 1
Вывод: cp: β = 1.103, R² = 0.955, p = 1.5e-13, Kv = 1.337, As = 3.087
```

Интерпретация. Значение β = 1,103 (β > 1, крутая гипербола) свидетельствует о сильной неоднородности: теплоемкости металлов распределены крайне неравномерно. Коэффициент вариации 1,337 и асимметрия 3,087 подтверждают наличие «тяжелого хвоста» [2, с. 50]. Легкие щелочные металлы (Li, Na) имеют аномально высокие значения cp, тогда как тяжелые тугоплавкие (W, Pb, Au) — низкие. Это соответствует физической картине: теплоемкость обратно связана с атомной массой (закон Дюлонга–Пти) [3, с. 208]. Высокое значение

R2 = 0,955 и малое p-value подтверждают статистическую значимость степенной модели [7, с. 220].

Ранговый анализ химического состава сталей

Исходные данные. В таблице приведены концентрации углерода и хрома (мас. %) в 20 марках промышленных сталей по справочным данным [5, с. 34–40; 6, с. 15–22] (Табл. 2).

Таблица 2 – Химический состав промышленных сталей [5; 6]

№	Марка	C, %	Cr, %	№	Марка	C, %	Cr, %	№	Марка	C, %	Cr, %
1	Ст3	0,14	0,00	8	У10	1,00	0,00	15	12Х18Н10Т	0,12	18,00
2	Сталь 10	0,10	0,00	9	У12	1,20	0,00	16	08Х18Н10	0,08	18,00
3	Сталь 20	0,19	0,00	10	9ХС	0,90	1,00	17	Р6М5	0,85	4,00
4	Сталь 35	0,35	0,00	11	ХВГ	1,00	1,00	18	Х12МФ	1,45	12,00
5	Сталь 45	0,45	0,00	12	ШХ15	1,00	1,50	19	5ХНМ	0,55	0,70
6	Сталь 50	0,50	0,00	13	40Х	0,40	1,00	20	18ХГТ	0,18	0,00
7	У8	0,80	0,00	14	30ХГСА	0,30	1,00				

Программная реализация на Python

Листинг 2 – Ранговый анализ химического состава сталей

```
rank_analysis(C, 'C')          # C и Cr — данные табл. 2
rank_analysis(Cr, 'Cr')
Вывод: C: β = 0.964, R² = 0.748, p = 8.5e-07, Kv = 0.719, As = 0.465
Cr: β = 1.689, R² = 0.879, p = 6.2e-05, Kv = 2.003, As = 2.001
```

Интерпретация. Углерод (β = 0,964). Значение близко к 1, что соответствует умеренной неоднородности. Это отражает реальную картину: углерод в сталях распределен в широком диапазоне (от 0,08 до 1,45 %), но около половины марок группируется в области 0,1–0,5 % [5, с. 36]. Ранговый анализ показывает, что «хвост» высокоуглеродистых сталей (У12, Х12МФ) вносит заметный вклад в неоднородность, но не доминирует. Аппроксимация степенной моделью для углерода заметно хуже, чем для других совокупностей (R2 = 0,748).

Хром (β = 1,689). Значение существенно больше 1, что указывает на сильную неоднородность. Это отражает принципиальное деление сталей на углеродистые (Cr ≈ 0), низколегированные (Cr ≈ 1 %) и высоколегированные (Cr ≈ 12–18 %) [6, с. 18]. Коэффициент вариации 2,003 и асимметрия 2,001 подтверждают наличие «тяжелого хвоста». Достаточно высокое R2 = 0,879 свидетельствует о хорошей аппроксимации степенной моделью даже после исключения нулей [7, с. 225].

Сравнительная таблица результатов

Сводные результаты приведены ниже (Табл. 3); значения для размера зерна – для сравнения по данным [2, с. 55].

Таблица 3 – Сравнительные результаты рангового анализа

Совокупность данных	Источник	β	R2	p-value	Неоднородность
Теплоемкость металлов	[3; 4]	1,103	0,955	$1{,}5 \cdot 10^{-13}$	сильная
Углерод в сталях	[5; 6]	0,964	0,748	$8{,}5 \cdot 10^{-7}$	умеренная
Хром в сталях	[5; 6]	1,689	0,879	$6{,}2 \cdot 10^{-5}$	сильная
Размер зерна стали 20	[2, с. 55]	0,480	0,970	—	слабая

Ранговый анализ справочных данных по металлам, реализованный на Python, демонстрирует несколько важных закономерностей:

1. Теплофизические свойства чистых металлов распределены крайне неравномерно (β = 1,103), что связано с фундаментальными различиями в электронном строении и атомной массе [3, с. 209].

2. Содержание углерода в промышленных сталях более однородно (β = 0,964), поскольку марочник формируется исходя из технологических потребностей, и большинство сталей имеют содержание углерода в узком диапазоне [5, с. 38].

3. Содержание хрома распределено крайне неравномерно (β = 1,689), что отражает деление сталей на классы [6, с. 20].

4. Статистическая значимость. Все три модели имеют $p < 10^{-4}$, что подтверждает степенной характер распределений [7, с. 230].

Использование Python позволяет автоматизировать обработку, легко расширять выборки и визуализировать результаты [7, с. 15–40]. Библиотека SciPy предоставляет готовые функции для линейной регрессии и статистических тестов, а Matplotlib — гибкие средства построения графиков [8, с. 112].

Ранговый анализ является универсальным инструментом, применимым не только к микроструктуре металлов [1; 2], но и к справочным данным по их свойствам и составу [3–6]. Реализация на Python с использованием NumPy, Pandas, SciPy и Matplotlib позволяет автоматизировать все этапы обработки и получать статистически обоснованные результаты [7; 8]. Проведенный анализ показал:

– теплоемкость чистых металлов характеризуется сильной неоднородностью (β = 1,103);

– содержание углерода в сталях — умеренной (β = 0,964);

– содержание хрома — сильной (β = 1,689).

Все модели статистически значимы ($p < 10^{-4}$), что подтверждает применимость степенного Н-распределения к справочным данным по

металлам. Методика может быть рекомендована для учебных и инженерных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. — М. : Металлургия, 1986. — 544 с.

2. Салтыков, С. А. Стереометрическая металлография / С. А. Салтыков. — М. : Металлургия, 1970. — 376 с.

3. Физические величины : справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский [и др.] ; под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.

4. Кикоин, И. К. Таблицы физических величин : справочник / И. К. Кикоин. — М. : Атомиздат, 1976. — 1008 с.

5. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.] ; под ред. В. Г. Сорокина. — М. : Машиностроение, 1989. — 640 с.

6. Масленков, С. Б. Стали и сплавы : справочник / С. Б. Масленков. — М. : Металлургия, 1983. — 240 с.

7. Маккинли, У. Python и анализ данных / У. Маккинли. — М. : ДМК Пресс, 2020. — 540 с.

8. Вандер Плас, Дж. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение / Дж. Вандер Плас. — СПб. : Питер, 2018. — 576 с.

9. Кудрин, Б. И. Введение в технетику / Б. И. Кудрин. — Томск : ТГУ, 1993. — 552 с.

10. Гурина, Р. В. Ценология — учение о ценозах разной природы. Посвящается выдающемуся учёному Борису Ивановичу Кудрину — основателю ценологического учения и ценологической школы, ушедшему из жизни 25 февраля сего года / Р. В. Гурина, Е. В. Морозова // Образовательные технологии (г. Москва). — 2020. — № 1. — С. 40–49.

УДК 519.24

Морозова Е.В., Шиллер М.П., Камалетдинова А.И., Иванова О.С., Дадов К.С.
Научный руководитель: Морозова Е.В., канд. физ.-мат. наук, доц.
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ РАНГОВОГО АНАЛИЗА МЕТАЛЛОВ

В работе исследуется эффективность рангового анализа при оценке структурной гетерогенности металлических материалов. Авторы детально описывают процедуру измерения зернистости на металлографических шлифах, алгоритм статистической обработки данных в среде MS Excel и последующую интерпретацию результатов. На примере низкоуглеродистой стали продемонстрировано преимущество H-распределения: данный метод позволяет выявить скрытую структурную неоднородность, которая остается незамеченной при использовании классических статистических подходов

В современной физике металлов накоплены значительные объемы данных о микроструктуре материалов. Однако классические статистические показатели (среднее значение, дисперсия, коэффициент вариации) зачастую оказываются недостаточно информативными при анализе сильно неоднородных систем [1, 2]. Учитывая иерархическую природу поликристаллических структур [1], применение рангового анализа становится эффективным методом для обнаружения скрытых закономерностей в распределении структурных дефектов и фаз [3, 4]. Данная работа посвящена систематизации алгоритма рангового анализа: от получения экспериментальных металлографических данных до их последующей обработки в среде MS Excel.

Более сорока лет назад Б. И. Кудриным [6] была предложена концепция техноценозов, постулирующая, что совокупности технических объектов обладают свойствами самоорганизующихся систем. Для упорядоченного по возрастанию набора из N измерений ($x_1 \le x_2 \le \cdots \le x_N$) каждому элементу ставится в соответствие ранг $r \in [1,N]$. Под ранговым распределением понимается функциональная зависимость величины параметра от присвоенного ему ранга. Основной инструмент рангового анализа – **H-распределение** [3, 5]:

$$H = \frac{A}{r^{\beta}} \tag{1}$$

где r — ранг, H — ранжируемый параметр, A — константа, β — коэффициент, характеризующий крутизну гиперболы.

В данном контексте ценоз трактуется как устойчивая структура, функционирование которой детерминировано закономерностями гиперболического распределения её компонентов [7–11].

В логарифмических координатах:

$$\ln H = \ln A - \beta \ln r$$

Коэффициент β характеризует степень неоднородности [4]:

- $\beta > 3$ — однородная структура;
- $\beta \approx 2$ — умеренная неоднородность, наличие «тяжелого хвоста» крупных зерен;
- $\beta < 1.5$ — резко неоднородная структура, склонность к хрупкому разрушению [5].

В качестве объекта исследования выбран образец конструкционной низкоуглеродистой стали 20 после нормализации. Химический состав (мас. %): C — 0.19; Mn — 0.52; Si — 0.24; S — 0.025; P — 0.018; Fe — основа.

1. **Вырезка образца:** Из середины прутка диаметром 20 мм вырезан темплет толщиной 10 мм.
2. **Шлифование:** Последовательно наждачной бумагой P240 → P600 → P1200 → P2500.
3. **Полирование:** Алмазными пастами 6 мкм → 3 мкм → 1 мкм на сукне.
4. **Травление:** 4% раствор азотной кислоты в этиловом спирте (ниталь), время травления — 8–10 секунд до выявления границ зерен.

Съемка производилась на оптическом микроскопе при увеличении ×500. Для измерения использовался метод **секущих линий** (ГОСТ 5639-82): на изображение накладывалась сетка из 5 горизонтальных и 5 вертикальных линий, подсчитывалось число пересечений границ зерен. Диаметр зерна рассчитывался по формуле:

$$d = \frac{L}{M \cdot n},$$

где L— длина секущей, M— увеличение, n — среднее число пересечений.

Таблица 1. Результаты измерений (фрагмент выборки, 100 зерен, мкм):

№	d	№	d	№	d	№	d	№	d
1	12	21	18	41	24	61	31	81	45
2	13	22	19	42	25	62	32	82	46
3	14	23	20	43	26	63	33	83	48
4	15	24	20	44	27	64	34	84	50
5	15	25	21	45	28	65	35	85	52
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
20	18	40	23	60	30	80	42	100	68

Таблица 2. Первичные показатели в Excel, которые рассчитываются через стандартные функции:

Показатель	**Формула Excel**	**Значение**
Среднее	=СРЗНАЧ(A2:A101)	27.4 мкм
Медиана	=МЕДИАНА(A2:A101)	25.0 мкм
Стандартное отклонение	=СТАНДОТКЛОН.В(A2:A101)	12.8 мкм
Коэффициент вариации	=STDEV/AVERAGE	0.467
Минимум	=МИН(A2:A101)	12 мкм
Максимум	=МАКС(A2:A101)	68 мкм
Асимметрия	=СКОС(A2:A101)	1.42
Эксцесс	=ЭКСЦЕСС(A2:A101)	2.15

Коэффициент вариации 0.467 указывает на высокую неоднородность. Асимметрия 1.42 подтверждает наличие «тяжелого хвоста» крупных зерен.

Ранговый анализ является эффективным дополнением к традиционным методам статистики. Проведенный эксперимент на стали 20 показал, что при удовлетворительном среднем размере зерна структура является резко неоднородной (β=0.48), что требует корректировки технологии термической обработки. Методика реализуется в Excel без специализированного ПО и может быть рекомендована для заводских лабораторий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1986.
2. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.
3. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. — М.: Металлургия, 1970.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. — М.: ИКИ, 2002.
5. Журнал «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», 2019–2023.
6. Кудрин Б.И. Введение в технетику / Б.И Кудрин. – Томск: ТГУ, 1993 –552 с.
7. Хайтун С.Д. Негауссовость социальных явлений на фоне универсальной эволюции //Общая и прикладная ценология. 2007 №3. С.12 – 23
8. Гурина Р. В., Морозова Е. В. Ценология-учение о ценозах разной природы. Посвящается выдающемуся учёному Борису Ивановичу Кудрину-основателю ценологического учения и ценологической школы, ушедшему из жизни 25 февраля сего года //Образовательные технологии (г. Москва). – 2020 – №. 1 – С. 40-49.
9. Гурина Р.В., Евсеев Д.А. Ранговый анализ, или ценогический подход, в методологии прикладных исследований. Монография. Ульяновск.: УлГУ, 2018 287 с.
10. Гурина Р.В. Ценологическая матрица Мира: Бог не играет в кости: монографмя. Ульяновск. УлГУ, 2025 - 171 с.

УДК 621.311

Московкин Д.Н.
Научный руководитель: Маслова И.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

БИОМИМЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Современные ветроэнергетические установки сталкиваются с ключевым ограничением: эффективность классических лопастей резко падает при низких скоростях ветра (< 6 м/с) и в условиях повышенной турбулентности — типичных для городской застройки, горных районов и прибрежных зон. Это делает малые ветроэнергетические установки экономически невыгодными в большинстве регионов России. При этом природа за миллионы лет эволюции выработала решения для устойчивого обтекания в нестабильных потоках. Переносом этих природных решений в инженерные конструкции занимается биомиметика [1] - метод проектирования, заимствующий эффективные принципы, структуры и процессы у живой природы для создания инновационных материалов, технологий и инженерных решений, что позволяет создать лопасти нового поколения.



Рис.1 Карина Луар. «Придумано природой: биомиметика». Рисунки Лауры Анкона. М.

В основе передовых разработок лежат три функциональных принципа, природных механизма, выявленных при анализе биологических систем, эффективно взаимодействующих с воздушными потоками [4].

Первый – упорядочивание вихревых потоков передней кромкой. Ряд летающих организмов использует неровности на передней кромке несущей поверхности крыльев в виде периодических выступов для управления воздушным потоком, предотвращая его срыв [2]. В технической реализации данный принцип повышает устойчивость лопастей к турбулентности.

Следующий принцип - адаптация кривизны и изменение геометрии. Некоторые виды птиц способны изменять геометрию крыла без активного мышечного усилия, используя аэродинамические нагрузки для пассивной перестройки профиля [3]. Это позволяет сохранять высокое аэродинамическое качество в широком диапазоне скоростей. В лопасти данный эффект достигается за счёт неравномерного распределения кривизны по размаху — усиления в средней зоне и сглаживания к концам.

Заключительный принцип - диссипация энергии вихрей. Для снижения шумового воздействия и вибраций ряд организмов применяет микроструктурирование задней кромки [2]. Мелкие неровности разбивают крупные вихревые образования на множество мелких, снижая их когерентность и акустическую активность. Технически это реализуется в виде мелкозубчатой структуры на выходной кромке лопасти.

Комбинация указанных принципов позволяет создать профиль, устойчивый к отрыву потока, адаптивный к изменению скорости ветра и обладающий сниженным шумовым воздействием. Эффективность предложенного такого профиля оценена методом численного моделирования. Для проведения анализа с целью выявления преимуществ и недостатков были созданы две геометрические модели лопасти одинаковой длины: классическая (гладкий профиль) и биомиметическая (с модулированной передней кромкой, изменённой кривизной и структурированной задней кромкой). Моделирование проведено в пакете OpenFOAM [5] с использованием модели турбулентности SST k-ω, обеспечивающей точное описание отрыва потока.

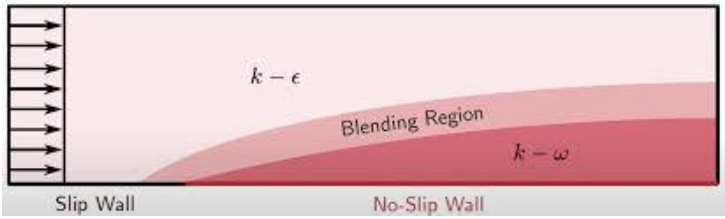


Рис. 2 Модель турбулентности SST k-ω

В исследовании определялись коэффициенты подъёмной силы и лобового сопротивления, рассчитывались аэродинамические способности обеих лопастей. Дополнительно анализировались поля завихрённости для визуализации зон срыва потока. Лопасть сохраняет эффективность даже при сильном наклоне к ветру — критический угол, при котором начинается резкое падение тяги, увеличился почти в полтора раза (с 14° до 21°). При умеренных скоростях ветра (5–7 м/с) соотношение полезной силы к сопротивлению выросло на 10–15% (Рис. 2), то есть лопасть стала заметно «экономичнее». В слабый ветер (4–5 м/с) лопасть лучше «ловит» поток — подъёмная сила увеличилась на 8–12% [3], что облегчает запуск турбины и повышает выработку энергии в малообеспеченных ветром районах. На биомиметической лопасти поток остаётся плавным до больших углов наклона (Рис. 1), тогда как на обычной лопасти уже при умеренном наклоне возникают завихрения и срыв потока. Полученные данные позволяют прогнозировать прирост годовой энерговыработки малой ветроэнергетической установки на 8–12% в регионах со средней скоростью ветра 5–6 м/с.

Интеграция трёх биомиметических принципов позволила создать профиль лопасти с повышенной устойчивостью к нестационарному ветру, скорость, направление и плотность которого меняются во времени. Преимущества проявляются именно в диапазоне условий, где традиционные решения теряют эффективность: низкие скорости, высокая турбулентность, переменные углы набегания потока. Подход не требует усложнения системы управления или активных элементов, сохраняя простоту и надёжность конструкции.

Исследования подтверждают потенциал биомиметики как системного инструмента проектирования ветроэнергетических установок [1, 4]. Перспективы дальнейших исследований включают экспериментальную верификацию в аэродинамической трубе, оценку влияния микроструктур на долговечность лопасти и адаптацию

профиля под специфические климатические условия различных регионов России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Луар К. Придумано природой: биомиметика / К. Луар. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 240 с.
2. Кузнецов С.А. Численное моделирование обтекания профиля лопасти ветротурбины с модифицированной передней кромкой / С.А. Кузнецов, А.В. Смирнов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2022. – № 3. – С. 45-58.
3. Иванов И.И. Повышение эффективности малых ветроэнергетических установок в условиях слабых ветров / И.И. Иванов // Возобновляемые источники энергии. – 2023. – № 1. – С. 12-1
4. Fish F.E., Battle J.M. The hydrodynamics of cetacean pectoral flippers with tubercles // Journal of Experimental Biology. 1997. V. 200. P. 577-588.
5. OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox [Электронный ресурс]. – URL: https://www.openfoam.com (дата обращения: 13.10.2026).
6. Московкин Д. Н. Возможность практического применения ветроэнергетической установки в частном пользовании / Д. Н. Московкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 2023. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 96-101.
7. Московкин Д. Н. Особенности конструкции и принцип работы ветроэнергетической установки совмещенной схемы / Д. Н. Московкин // XV Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство.», Белгород, 2023. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 36-39.
8. Московкин Д. Н. Возможность практического применения авиационных профилей различной геометрии в конструкции ротора Дарье для ветроэнергетической установки / Д. Н. Московкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2024. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 43-45.

УДК 303.732:63

Моторин О.А.
Научный руководитель: Маматов А.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Разработка информационных систем сельского хозяйства требует предварительного определения объекта управления. Перечень хозяйств, машин и программных продуктов не раскрывает связей, посредством которых ресурсы преобразуются в продукцию, а наблюдения – в управленческие решения. Если границы объекта и полномочия участников не установлены, цифровизация отдельных операций может сохранять несогласованность производственных процессов. Поэтому исходной задачей является системное описание сельского хозяйства, связывающее его состав с целями управления и потребностями в информации.

Методологическую основу такого описания составляют положения теории систем и системного анализа [1]. В. И. Меденников и соавторы рассматривают цифровую трансформацию АПК с системных позиций и обращают внимание на согласование информационных ресурсов [2]. А. Ю. Брюханов, В. Д. Попов и соавторы связывают управление экологической безопасностью агроэкосистем с мониторингом, оценкой и принятием решений [3]. Эти подходы позволяют поставить вопрос о едином описании производственного объекта при сохранении различий его биологических, технических и организационных составляющих.

Цель работы – предложить системное представление сельского хозяйства, позволяющее определить границы объекта, уровни управления и требования к информационному обеспечению. Использованы анализ научных публикаций, структурно-функциональная декомпозиция и качественное сопоставление свойств объекта с задачами управления.

В настоящем исследовании сельское хозяйство рассматривается как открытая совокупность взаимодействующих производственных систем, обеспечивающих получение продукции растениеводства и животноводства и воспроизводство используемых ресурсов. Для конкретной задачи граница задаётся территорией, составом процессов,

кругом ответственных участников и горизонтом решений. Промышленная переработка, торговля и конечное потребление относятся к внешней среде выбранного производственного объекта. При исследовании интегрированного предприятия отдельные процессы переработки могут включаться внутрь границы, что должно быть оговорено явно.

Объект включает биологические компоненты, земельные и водные ресурсы, технические средства, персонал и средства обработки информации. Они связаны материальными, энергетическими, информационными и организационными отношениями. Погодные воздействия, рыночные условия и внешние обязательные требования учитываются как факторы среды. При этом сельское хозяйство в целом не отождествляется с единой централизованно управляемой организацией: хозяйства обладают собственными целями, ресурсами и полномочиями.

Для согласованного описания предлагается представление (1):

$$\mathrm{С} = \langle \mathrm{Э}, \mathrm{Р}, \mathrm{Ц}, \mathrm{У}, \mathrm{Д}, \mathrm{О}, \mathrm{В} \rangle \quad (1)$$

где С – система; Э – компоненты системы; Р – отношения между ними; Ц – цели участников и критерии оценки; У – допустимые управляющие воздействия и полномочия; Д – доступные данные; О – ресурсные и технологические ограничения; В – воздействия внешней среды. Это схема спецификации объекта, а не математическая модель его динамики. Для её применения необходимо раскрыть содержание каждого множества применительно к выбранной задаче.

Предлагается выделить три уровня рассмотрения объектов системы. На уровне процесса анализируется взаимодействие биологического объекта, технического средства и исполнителя: например, полив участка или кормление группы животных. На уровне предприятия согласуются процессы, ресурсы и производственные планы. На территориальном уровне рассматриваются взаимодействия самостоятельных хозяйств, инфраструктуры и органов управления [8], обеспеченность тем или иными ресурсами, например, энерговооруженностью [9; 10] или средствами связи и навигации [11]. Переход между уровнями требует правил агрегирования данных. Так, показатели отдельного предприятия, очевидно, нельзя автоматически интерпретировать как характеристики территории [12].

На каждом уровне различаются объект воздействия, субъект принятия решения и информационное обеспечение. Рабочее описание контура включает наблюдение состояния, оценку отклонений, выбор

допустимого действия, исполнение и регистрацию результата. Наличие датчика или программного сервиса само по себе не замыкает этот контур [13]: должны быть определены получатель сведений, срок решения и исполнитель. Передача отдельных функций вычислительной системе требует указания условий автономной работы и возврата управления ответственному человеку.

Отраслевые особенности следует выражать через последствия для проектирования управления (Табл. 1).

Таблица 1 – Требования к управлению на основе анализа свойства объекта

Свойство объекта	**Задача управления**	**Требование к информации**
Биологические циклы и задержки	Согласование момента воздействия с фазой развития	История состояний и учёт времени получения эффекта
Пространственная неоднородность	Выбор воздействия для конкретного участка или группы	Привязка наблюдений к объекту и месту
Зависимость от среды	Пересмотр решения при изменении условий	Время наблюдения, прогноз и оценка неопределённости
Общие ограниченные ресурсы	Согласование операций и разрешение конфликтов	Данные о доступности ресурсов и приоритетах
Самостоятельность участников	Распределение ответственности за решения	Права доступа, происхождение данных, правила обмена
Неполнота наблюдений	Оценка достаточности сведений для решения	Контроль качества и указание недостающих данных

*Источник: составлено автором.

Такое описание позволяет разделить полноту цифрового учёта и достаточность информации для управления (проблема сатурация данных). Например, при назначении полива могут быть известны площадь участка сельхозугодий и наличие оборудования, однако актуальные сведения о состоянии почвы могут отсутствовать. Решение остаётся недостаточно обоснованным даже при заполненности остальных записей. Если сведения имеются, но оборудование недоступно, возникает уже ресурсное ограничение. Предлагаемая схема

требует фиксировать эти причины раздельно, поскольку их устранение предполагает разные действия.

Разработки по созданию цифровых профилей сельхозтоваропроизводителей [4] и цифровому профилированию предприятий [5] могут служить основой описания состава объекта и его процессов. Для задач системного анализа профиль предлагается дополнять связями «производственная задача – необходимые данные – ответственное лицо – допустимое действие». Это позволяет переходить от перечня характеристик предприятия к проверке конкретного контура управления.

Так, например, согласование наземных наблюдений и дистанционного зондирования, рассматриваемое В. И. Меденниковым [6], требует единой привязки данных к объекту и времени. В исследованиях экономики данных выделяются также вопросы обмена и организации отраслевой информационной инфраструктуры [7]. В рамках предлагаемого представления они относятся к условиям доступности и интероперабельности данных, а также взаимодействия участников информационного обмена. Достоверность наблюдений, доступность сведений и наличие полномочий на действие проверяются отдельно.

Предложенное представление связывает три уровня рассмотрения сельского хозяйства с составом компонентов, отношениями, целями и ограничениями. Его прикладной результат – переход от характеристики отраслевых особенностей к требованиям к информационному обеспечению конкретных решений. При обследовании объекта последовательно устанавливаются граница, участники, управляемые процессы, доступные воздействия и необходимые данные, а затем выявляются разрывы обратной связи и конфликты ресурсов, необходимых для балансировки устойчивости системы либо приоритизации направлений развития системы.

Дальнейшее развитие работы связано с формализацией описания контуров, проверкой его на материалах хозяйств и разработкой системной архитектуры, согласующей производственные процессы, цифровые профили и распределённую обработку информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – 3-е изд. – Москва : Юрайт, 2023. – 562 с.

2. Системный взгляд на цифровую трансформацию АПК / В.И. Меденников, И.М. Кузнецов, М.В. Макеев, М.И. Горбачев // Управление рисками в АПК. – 2020. – № 2. – С. 33–42.

3. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем / А.Ю. Брюханов, В.Д. Попов, Э.В. Васильев, Э.А. Папушин // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 4 (113). – С. 4–18. – DOI: 10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18.

4. Создание цифровых профилей сельскохозяйственных товаропроизводителей / О.А. Моторин, Н.П. Мишуров, В.И. Меденников [и др.]. – Москва : Росинформагротех, 2023. – 76 с.

5. Цифровое профилирование сельскохозяйственных предприятий : аналит. обзор / О.А. Моторин, В.Н. Кузьмин, А.В. Эдер [и др.]. – Москва : Росинформагротех, 2024. – 116 с.

6. Меденников, В.И. Формирование условий превращения технологий ДЗЗ в технологии общего пользования / В.И. Меденников // Управление рисками в АПК. – 2021. – № 4 (42). – С. 46–54. – DOI: 10.53988/24136573-2021-04-05.

7. Исследование направлений развития экономики данных в сельском хозяйстве : аналит. обзор / В.С. Гринько, М.В. Дулясова, О.А. Моторин [и др.]. – Москва : Росинформагротех, 2025. – 144 с.

8. Баринголь, И. М. Проблемы развития региональной экономики в контексте цифровой трансформации экономических систем / И. М. Баринголь // Управление рисками в АПК. – 2023. – № 3(49). – С. 119-123. – DOI 10.53988/24136573-2023-03-13. – EDN JUIMBN.

9. Машиннотракторный парк сельскохозяйственных организаций / О. А. Моторин, Н. А. Халиуллин, М. И. Свищева [и др.] // Управление рисками в АПК. – 2022. – № 2(44). – С. 118-133. – DOI 10.53988/24136573-2022-02-10. – EDN LYMVJE.

10. Анализ наличия и возрастного состава тракторов в Республике Татарстан / Н. А. Халиуллин, И. А. Вафин, О. А. Моторин, Н. Е. Вокуева // Управление рисками в АПК. – 2023. – № 4(50). – С. 64-70. – DOI 10.53988/24136573-2023-04-07. – EDN RXLKAV.

11. Оснащенность сельскохозяйственной техники средствами спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS / О. А. Моторин, М. И. Свищева, Н. А. Халиуллин, Н. Е. Вокуева // Управление рисками в АПК. – 2022. – № 3(45). – С. 55-64. – DOI 10.53988/24136573-2022-03-06. – EDN WKFJWZ.

12. Территориальная дифференциация животноводства Республики Татарстан / О. А. Моторин, Н. А. Халиуллин, М. И.

Свищева [и др.] // Управление рисками в АПК. – 2022. – № 3(45). – С. 35-45. – DOI 10.53988/24136573-2022-03-04. – EDN RLCWYF.

13. Вокуева Н.Е. Распределённая информационная система цифрового профилирования сельскохозяйственных предприятий // Управление рисками в АПК. 2023. № 1 (47). С. 45–55.

УДК 331.45

Мунировм М.А
Научный руководитель: Ястребинская А.В., канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ: РОССИЙСКИЙ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

В сфере охраны труда в настоящее время происходит концептуальный сдвиг: предприятия переходят от реактивных подхода в вопросах охраны труда к проактивному. Основой для данного перехода стал цикл принцип непрерывных улучшений PDCA. При этом, несмотря на существование единых международных стандартов, практические методы оценки профессиональных рисков в разных странах кардинально различаются.

Фундаментом для российской системы управления рисками заложен в статьях Трудового кодекса РФ под номерами 209, 214 и 218.

На законодательном уровне от работодателя требуется осуществлять постоянный мониторинг и выявление опасностей, создавать профильные комиссии и вести реестр распознанных угроз. На практике отечественные организации чаще всего применяют классический матричный метод или подход Файн-Кинни. Последний, за счёт того что учитывает не только тяжесть и вероятность негативного события, но продолжительность его воздействия, позволяет более точно дифференцировать риски.

Процесс снижения рисков в РФ осуществляется в строгой иерархической последовательности:от попыток модернизации технологического процесса до выдачи подверженным риску работникам средств индивидуальной защиты. Однако основная проблема отечественной модели - формализм. Опасаясь административных штрафов (до 200 тыс. руб. по КоАП РФ), многие организации умышленно занижают реальные показатели в отчётах и

игнорируют неочевидные угрозы, такие как психоэмоциональные нагрузки.

Зарубежная практика, в свою очередь, базируется на отличных от нашей практики принципах, поощряя открытость и так называемую «справедливую культуру».

В Великобритании основной упор идёт на концепцию ALARP, В основе её заложен принцип что абсолютной безопасности не существует, поэтому риски необходимо уменьшать до тех пор, пока затраты на обеспечения безопасности не станут несоразмерны уровню самой угрозы. Для обоснования подобных решений в британии используют наглядные аналитические инструменты, например, диаграмму «галстук-бабочка».

Французская модель сфокусирована на исторической ретроспективе. Используемый во франции Единый документ оценки рисков (DUERP) который должен храниться в течение 40 лет и размещаться на государственных порталах. Что позволяет объективно проводить расследования профессиональных заболеваний с отложенным эффектом, которые могут проявиться спустя десятилетия.

В Германии применятся семи этапный непрерывный алгоритм с использованием готовы цифровых перечный опасностей. Ключевая особенность данного подхода - обязательное привлечение профильных врачей и эргономистов, а также углублённый анализ стресс-факторов, монотонности труда и влияния ночных смен.

В таблице представлена характеристика существующих подходов к оценке рисков в РФ и за рубежом

Таблица – Характеристика подходов

Критерии сравнения	Российская Федерация	Великобритания	Франция	Германия
Общий смысл и цели	Подготовка бумаг во избежание штрафов, формальное управление СУОТ	Экономическая логика: поиск чёткого баланса между расходами и безопасностью	Сохранение исторической хроники условий труда для защиты людей	Постоянный процесс оценки, упор на промышленную медицину
Главный метод и инструменты	Матричный метод или метод Файн-Кинни,	Расчёт «затраты-выгоды», документаль	Обязательный реестр (DUERP) и долгосроч	7-этапный алгоритм с использованием

	составление реестров	ное обоснование отказа от улучшений	ные программы для крупного бизнеса	цифровых перечней опасностей
Хранение данных и доступность	Внутренние карты ОПР, сбор подписей сотрудников об ознакомлении	Внутренняя документация, публичность при расследовании аварий	Цифровой архив хранится 40 лет, всё загружается на единый гос. портал	Интеграция с рабочими советами, свободный доступ для страховщиков
Рассматриваемые опасности	Распространённые физические травмы и вредные факторы рабочей зоны	Любые угрозы, которые могут привести к тяжёлым травмам или смерти	Работа в коактивности, гибкие графики, болезни с отложенным эффектом	Глубокий анализ стресса, эргономики рабочих мест и работы на удалёнке

Как можно заметить, зарубежный опыт демонстрирует активный переход к цифровым решениям, в то время как значительная часть отечественного бизнеса всё ещё утопает в бумажном документообороте. Для повышения эффективности российской системы оценки профессиональных рисков и избавления от формального комплаенса, России необходимо шире адаптировать международные практики. Синтез британского экономического прагматизма, французской прозрачности собираемых данных и немецкого внимания к психологическому здоровью работника может помочь достичь реального баланса между безопасностью персонала и устойчивости бизнеса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Профессиональные заболевания работников горнорудной промышленности. Томаровщенко О.Н., Канивец И.В. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2025. Т. 14. № 2 (70). С. 202-209.

2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.12.2023) // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 1 (ч. 1). – Ст. 3.

3. Приказ Минтруда России от 28.12.2021 N 926 «Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков» // Официальный интернет-портал правовой информации.

УДК 621.926.5

Назаренко Е.А., Исса Ю.М., Белозерских И.В., Матусов М.Г.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Поскольку на процессе измельчения в трубных мельницах могут влиять как технологические, так и конструктивные факторы, методы повышения эффективности можно разделить на две соответствующие группы.

К технологическим методам следует отнести предварительное дробление клинкера в быстроходных молотковых дробилках, понижение температуры клинкера, поступающего в мельницу, применение интенсификаторов помола (ИП), а также применение замкнутого цикла измельчения или двухстадийного процесса с применением специализированной мельницы тонкого помола во второй стадии.

Поскольку хрупкость измельчаемого материала, в том числе и цементного клинкера, является не свойством его, а состоянием, понижение температуры, хотя бы ниже 100° позволяет поднять производительность на 10-15%. Это хорошо согласуется положениями теории дислокаций. В крупном теле развитие дефектов структуры до критических размеров и последующее разрушение требует значительно меньших затрат энергии, чем в том случае, когда энергия, сообщаемая телу, расходуется на его пластическое деформирование. Препятствием к использованию холодного клинкера в помоле препятствует сравнительно низкая эффективность холодильников вращающихся печей и напряженная производственная программа, вследствие чего клинкер не успевает достаточно охладиться в свободном состоянии на

промежуточном складе. Хотя в данном случае принципиально не требуется подведения энергии для охлаждения клинкера, т.к. теплоту (эквивалент работы) надо отнимать, а не сообщать, в условиях многотоннажных производств, которыми являются цементные предприятия, аппаратурное оформление охлаждающих устройств должно быть настолько сложным и громоздким, что реальных решений в промышленности до сих пор нет. Вместе с тем, создание устройства позволяющего резко охладить цементный клинкер хотя бы до температуры охлаждающей среды, могло бы существенно улучшить работу цементных мельниц, особенно на стадии грубого помола до 20% и более.

Шаровые барабанные мельницы неудовлетворительно работают в режиме дробления, т.к. энергия разрушения передается измельчаемому материалу свободно падающими мелющими телами. Хотя удельная энергия, расходуемая при этом намного меньше той, которая потребляется при тонком измельчении-помоле (особенно в цильпебсных камерах), гораздо выгоднее вести дробление клинкера перед поступлением в мельницы в быстроходных молотковых дробилках. Расход энергии в последних довольно низок - 1-1,3 квтчас/т, что является результатом высокой скорости и взаимодействия кусков клинкера с молотками, т.к. хрупкость материала, кроме температуры, зависит также от скорости и схемы нагружения. Повсеместному применению на заводах предварительного дробления клинкера препятствует быстрый износ рабочих органов дробилок, выход из строя опор валов. Отсутствие предварительного дробления клинкера вынуждает увеличивать в первых камерах мельниц средневзвешенный диаметр шаров, что неблагоприятно сказывается на долговечности футеровки, особенно если она имеет развитую рабочую поверхность (каблучки или другие выступы). Поэтому необходимо создание специальных дробилок различной производительности, рассчитанных на работу в условиях цементной промышленности. Это позволит резко понизить суммарный расход энергии при помоле цемента, т.к. снизится требуемая степень измельчения в трубных мельницах, и при необходимости её можно будет сдвинуть в сторону увеличения тонких фракций 50 мк, что значительно повышает тонкость помола цемента. Следующим важным фактором повышения эффективности работы цементных мельниц (до 30%) является применение замкнутого цикла измельчения. Для этого мельница комплектуется сепарирующей системой и специальными транспортирующими устройствами. Материал, прошедший измельчение и содержащий часть крупных

(некондиционных) фракций направляется в воздушный сепаратор, где тонкие фракции отделяются от грубых и удаляются как готовый продукт, а грубые возвращаются в мельницу на домол вместе с исходным материалом. Существует несколько схем замкнутого цикла, которые различаются местом отвода полидисперсного продукта из межкамерного пространства или на выходе из мельницы. Сепараторы также имеют несколько конструктивных вариантов, но работают на одном принципе - принудительном разделении под действием центробежных сил инерции в пылегазовых потоках. Несомненным преимуществом замкнутого цикла является гарантированное получение продукта с заданным верхним пределом дисперсности путем соответствующей регулировки сепаратора. При этом сама мельница настраивается на режим, наиболее выгодный в энергетическом отклонении. В последнем основную роль играет отсутствие необходимости получения высокодисперсного продукта непосредственно на выходе, и избежать вследствие этого агрегации частиц в зоне последних метров барабана мельницы. Замкнутый цикл измельчения, обладая рядом преимуществ в сравнении с открытым, является все же паллиативом: резко возрастает сложность и громоздкость помольного агрегата, добавляются уязвимые узлы: транспортирующие и вентиляционные устройства. Обеспечение мельницы производительностью 50-100 т/час этими устройствами уже само по себе является сложной технической задачей. Она дополнительно усложняется, если учесть специфику цементного производства, особенно повышенный износ рабочих органов. Части корпусов сепараторов, контактирующих с цементной крупкой, иногда не выдерживают двух-трёх недель эксплуатации. Кроме того, с усложнением агрегата понижается его надежность, что делает установки замкнутого цикла мало предпочтительными в эксплуатационном отношении.

Конечно, стадийное измельчение цемента имеет свои недостатки, однако в этом случае подход к повышению качество продукта импонирует физической обоснованностью, в то время как в замкнутом цикле физика процесса отчасти игнорируется принудительной сепарацией. Создание мельницы типа "Минипебс", стало возможным в результате разработки специального разгрузочного устройства, отделяющего чрезвычайно малые мелющие тела от готового цемента, что является крупным инженерным достижением.

Следующим важным фактором повышения рабочего процесса в шаровых барабанных мельницах является применение

интенсификаторов помола. Действие этих веществ, являющихся органическими соединениями, основывается в основном на "эффекте Ребиндера", который применим только к измельчению, основывается на том, что деформация в поверхностно-активных средах или в присутствии весьма малых добавок адсорбирующихся веществ позволяет в ряде случаев коренным образом изменять механические свойства деформируемого тела, т.е. его поведение под нагрузкой. Уменьшение сопротивляемости помолу сказывается уже на стадии грубого помола при введении ничтожно малых количеств ИП поверхностно-активных веществ (ПАВ) до 0,01-0,03%. Одновременно с этим значительно изменяются в лучшую сторону такие свойства массы, как уменьшение склонности к агрегированию, текучесть (подвижность). Применение ИП позволяет значительно повысить эффективность измельчения на 15-25% . В качестве интенсификатора в ПАВ у нас в стране применяются в основном триэтиламин (ТВА) или его смесь с сульфитно-спиртовой бардой (ССБ), а также некоторые другие органические соединения. В дальнейшем развитии этого мощного средства повышения эффективности помола предстоит решение сложной задачи рационального введения ИП в мельницу. Здесь имеются в виду устройства для подачи ИП во вторые (цильпебсные) камеры мельниц, где их действие было бы особенно эффективным.

Выше рассмотрены основные методы повышения эффективности рабочего процесса в трубных мельницах средствами технологического характера, хотя это зачастую сопровождается и конструктивной модернизацией. Существует еще много методов воздействия на процесс измельчения. Сюда относятся интенсивность аспирации, оптимизация мелющей загрузки по количеству и ассортименту, установление наилучшего соотношения в длине помольных камер и многое другое. В пределах данного обзора невозможно остановиться, хотя бы бегло, на всех этих моментах, поэтому ограничимся ссылкой на соответствующие литературные источники. Необходимо сделать следующее замечание общего характера: повышение эффективности помола в цементных мельницах в настоящее время сдерживается не только медленным внедрением результатов научных исследований, но и недостаточно высокой технологической культурой на ряде производств (несоблюдением оптимальных режимов, недостатком необходимых КИП и т.д). Разумеется, внедрению новшеств должно предшествовать решение чисто производственных проблем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Высшая школа, 1971.
2. Дэвис Э.В. Тонкое измельчение в шаровых мельницах // Теория и практика дробления и тонкого измельчения. – Л: 1932. – С. 121-130.
3. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Зайцев М.С., Скворцов Д.С. Особенности снижения энергозатрат при помоле цемента в барабанных шаровых мельницах // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» - Белгород: Изд-во БГТУ, Вып. XVIII. – 2019. – С. 252-254.
4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Денисова Е.М., Королева Л.А. Способы интенсификации работы трубных шаровых мельниц // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов - Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XIX. - 2020 - С. 167-172.
5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Королева Л.А., Белоус А.С., Денисова Е.М. Методы интенсификации процесса измельчения цементного клинкера и добавок// Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. - 2021. - С. 122-126.

УДК 666.97.031

Науменко В.В., Исса Ю.М., Токмаков А.С., Хохлов Д.О.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСНОВЫ ВЫБОРА И РАСЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

В последнее время разработано довольно большое количество новых бетоносмесительных установок с учётом современных требований строительства. Например, заводом «Красная пресня» разработана установка БСУ – 500 производительностью 20 м³/ч. Установка оснащена скиповым подъёмником, модернизированным

роторным противоточно-планетарным бетоносмесителем, лопастями из полиуретана и т.д.

При производстве бетонных работ небольшого объёма, а также при ремонтно – восстановительных работах широко применяют сухие строительные смеси, которые производят на специальных заводах или установках. Например, установка СБ – 168 производительностью 50 – 100 м³/ч разработана в модульном (блочном) исполнении и включает дополнительно сушильный барабан, теплогенератор, вибрационный грохот, тарно – упаковочный роботизированный комплекс и систему управления. Установленная мощность электродвигателей на установке не превышает 250 кВт.

Выбор и расчёт оборудования БСУ осуществляется на основе норм проектирования. Например, мощность (производительность) БСУ циклического действия рассчитывается по формуле [1], [2]:

$$Q_{\text{г}} = V_{\text{СМ}} * K_{\text{вых}} * Z_{\text{СМ}} * n_{\text{ц}} * K_{\text{Н}} * T_{\text{Г}}, \text{м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

где $V_{\text{СМ}}$ - вместимость соответствующего смесителя по загрузке, м³; $K_{\text{вых}}$ - коэффициент выхода готовой смеси, $K_{\text{вых}}$ = 0,67 (для тяжелых и легких конструкционных бетонов); $K_{\text{вых}}$ = 0,75 (для теплоизоляционного бетона); $K_{\text{вых}}$ = 0,8 (для растворных смесей); $Z_{\text{СМ}}$ - количество смесителей, установленных в смесительном отделении; $n_{\text{ц}}$ - количество циклов (замесов) в 1 ч. (принимается из норм проектирования или технических паспортов смесителей); $K_{\text{Н}}$ - коэффициент неравномерности выдачи готовой смеси, $K_{\text{Н}}$= 0,8 (по нормам проектирования); $T_{\text{Г}}$ - годовой фонд времени работы БСУ (определяется расчётом).

При заданных значениях параметров, входящих в формулу 1 можно определить количество смесителей заданного типоразмера.

Расчётное количество смесителей необходимо округлить до целого числа с таким расчётом, чтобы коэффициент эксплуатации не превышал допустимого значения, т. е. 0,95.

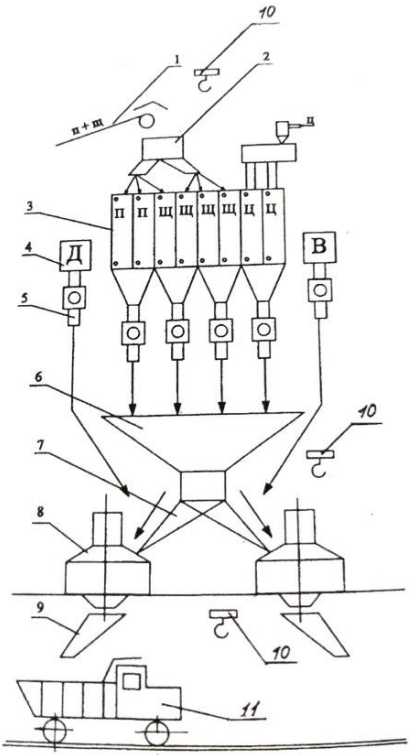


Рис.1. Схема цепей оборудования односекционного бетоносмесительного завода:
1 – конвейер ленточный; 2 – воронка поворотная; 3- бункер; 4 – бункер воды и добавок; 5 – дозатор; 6 – воронка приёмно-расходная; 7 – воронка загрузочная; 8 – бетоносмеситель роторный; 9 – воронка (бункер) для выдачи смеси; 10 – грузоподъёмное средство; 11 – автотранспорт.

Для бетоносмесительных установок непрерывного действия годовая производительность (мощность) определяется по формуле [1], [2]:

$$Q_{\text{г}} = K_Q Q_{\text{П}} * Z_{\text{СМ}} * K_{\text{Н}} * T_{\text{Г}}, \text{м}^3/\text{год}, \quad (2)$$

где K_Q - коэффициент снижения паспортной часовой производительности смесителя, K_Q= 0,93 - 0,97; $Q_{\text{П}}$ - паспортная часовая производительность соответствующего смесителя, м³/ч.

Выбор дозаторов производится по вместимости (литражу) соответствующего смесителя, либо по величине дозы материала или

производительности (потребности), а также по конструктивному исполнению БСУ.

Вместимость бункеров (силосов) сырьевых материалов рассчитывается по формуле [1], [2]:

$$V_{Б} = t_{из} * Q_{ч}, м^3, \quad (3)$$

где $t_{из}$ - нормативное время запаса соответствующего материала (щебня, песка, цемента, добавок и т.п.), ч; $Q_{ч}$ - часовой расход (потребность) материала, м³/ч.

По нормам проектирования принимается следующее время запаса материала (ч): 1 – 2 (для заполнителей); 2 – 3 (для цемента); 4 – 5 (для добавок).

Остальное оборудование рассчитывается и выбирается по основным параметрам исходя из расчётной производительности по перерабатываемому материалу [2], [3].

После окончания расчётов и выбора оборудования составляется схема цепей оборудования и сводная ведомость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб.-к для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 368 с.
2. Ильин А.С. Автоматизированные технологические комплексы (линии) – основа современного высокоэффективного и энергосберегающего производства строительных материалов и изделий//Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004, № 4, с. 57 – 59.
3. Богданов В.С., Борщевский А.А., Ильин А.С. и др. Технологические комплексы и линии для производства строительных материалов и изделий: Учебн. пособие/Под ред. А.С. Ильина. – М: Изд-во АСВ, 2000. – 199 с.
4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Смирнов Д.В., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. Анализ режимов работы смесителей для производства сухих строительных смесей // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 143–146.
5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Чемеричко Г.И., Оноприенко Ю.С., Камбур А.С. Качество и методы оценки сухих строительных смесей // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие

технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXIII. – 2024. – С. 186–188.

УДК 666.9.04

Никитина М.А., Щелокова Л.С.
Научный руководитель: Коновалов В.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

В настоящее время нет ни одной отрасли, в которой не наблюдалось бы тенденция использования некондиционного сырья, находящегося в отвалах предприятий. Промышленность идет в направлении пополнения дефицита природного сырья для производства строительных материалов. В результате этого, возникает актуальная задача цементной промышленности и других отраслей произвести переориентацию предприятий на потребление техногенного сырья.

Определение «некондиционное сырье» означает, как природный, так и техногенного происхождения материал, который не соответствует техническим характеристикам к цементному сырью по каким-либо параметрам.

Вопрос о пригодности некондиционных ресурсов для изготовления портландцемента является актуальным для большого количества различных производств, поэтому для решения этой проблемы необходимо основываться на всестороннем изучении химического и минералогического состава сырья и исследования его физико-механических свойств.

Отказ в использовании некондиционного сырья связан с тем, что

сырье часто содержит в себе нежелательные примеси, которые негативно воздействуют на технологический процесс получения и на качество цемента.

Задачей данного исследования является изучение степени пригодности некондиционного кремнийсодержащего сырья, и анализ качества получаемого цемента на его основе.

В данной работе в качестве некондиционного сырья исследовалась смешанная глинистая порода месторождения карьера Серебрянского

цементного завода - суглинок. Суглинки добываются в процессе вскрышных работ на карьере, а в дальнейшем направляются в отвал, где накапливаются в течение некоторого времени, приводя к возникновению экологических проблем. Для своевременного решения данных проблем необходимо производить утилизацию отвалов.

Суглинки, по природе, кремнийсодержащая порода, представленная от 10 до 60% глинистыми минералами, остальная часть состоит из кварца и других включений. По этим показателям они делятся на суглинки легкие, содержащие глинистых частиц 10–30%, средние – 30–45% и тяжелые – 45–60% [1]. Также суглинок описывается как осадочная дисперсная горная порода, состоящая из глинистых, песчаных и пылеватых частиц, с числом пластичности I_P = 7-17 [2].

Исследование гранулометрического состава производили при помощи ситового анализа [3]. Результаты анализа представлены в табл.1 и рис.1.

Таблица 1 - Гранулометрический состав породы

Размер отверстий сит	Выход материала		Суммарный выход
мм	г	%	%
5,0	6,6	0,94	0,94
2,5	65,6	9,37	10,31
1,25	117,5	16,79	27,1
063	95,0	13,57	40,67
0315	106,0	15,15	55,82
016	190,0	27,15	82,97
Поддон (частицы менее 160 мкм)	119,0	17,00	99,97
Сумма	699,7	99,97	
Потери составили 0,03 %. Навеска материала – 700 г.			

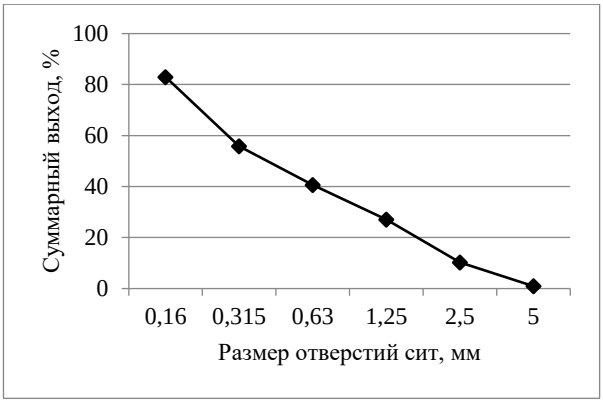


Рис. 1 Гранулометрический состав породы суглинок

По характеру кривой можно судить о гранулометрии материала (крупности). Кривая имеет вогнутый характер, это говорит о том, что в материале преобладают мелкие зерна (размер менее 160 мкм). В зависимости от гранулометрического состава можно отнести к тяжёлым песчанистым суглинкам [2]. По результатам исследования – это рыхлая порода с естественной влажностью – 12,8%, содержащая SiO_2 - 80,84 %, Al_2O_3 - 6,69 %, Fe_2O_3 - 3,79 %, CaO – 1,58 % и др. Дисперсность материала влияет на физико-химические процессы, происходящие во вращающийся печи. Реакционная способность зерен размером более 160 мкм невелика, увеличить данную способность частиц возможно при помощи механической активации (помола). Реакционноспособный размер частиц является менее 100-120 мкм [4].

Исследование минералогического состава суглинка проводилось при помощи рентгенофазового анализа. Результаты представлены на рис.2.

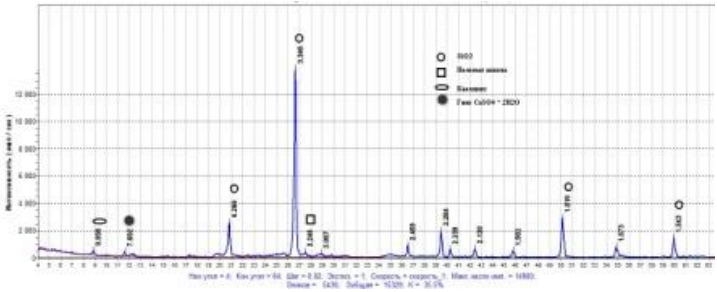


Рис. 2 Фазовый состав суглинок

На основании полученных результатов, суглинок состоит в основном из кварца, также в его составе обнаружены полевые шпаты, каолинит и гипс. Содержание крупнокристаллического кварц (размер частиц более 80 мкм) составило 30,4%, что подтверждается и рентгеноструктурным анализом на основании интенсивности рефлексов d = 3.35Å, 4.26Å, 1.82Å.

Так как в породе обнаружено достаточно большое содержание крупнокристаллического SiO_2, следовательно, необходимо обратить на данный фактор особое внимание. По литературным данным нам известно, что при большом его количестве происходит замедление процесса минералообразования, и впоследствии, увеличивается расход топлива и нарушается технологический процесс обжига [5].

Для исследования были составлены сырьевые смеси, с целью проанализировать качество полученного цемента и дать характеристику пригодности суглинок в качестве компонента сырьевой смеси для производства вяжущего – портландцемента.

В работе использовались сырьевые материалы Серебрянского цементного завода, получаемый клинкер имел минералогический состав, следующий, КН = 0.93 и модульные характеристики n=2.10 и p=1.2.

Для приготовления сырьевых смесей в качестве алюмосиликатного компонента были взяты глины разной минералогии. Для смеси № 1 взяла каолинитовая глина – Юрская, для смеси № 2 монтмориллонитовая глина – Четвертичная. Вещественный состав смесей представлен в табл. 2.

Таблица 2 - Вещественный состав смесей

Смесь № 1	Смесь № 2
Известняк – 77,5 %	Известняк – 78,7 %
Глина Юрская – 16,81 %	Глина Четвертичная – 17,67 %
Суглинок – 4,1 %	**Суглинок – 2,24 %**
Шлам аглодоменный – 1,59 %	Шлам аглодоменный – 1,39 %

Качество получаемого цемента и возможность использования некондиционного кремнийсодержащего сырья оценивалось по гидравлической активности клинкера, изготовленного из исходных сырьевых смесей.

Для этого было приготовлено два вида цемента (Цемента 2 и 3) с удельной поверхностью 350 ($\pm$10 м^2/кг) [6]. Далее образцы кубы размером 1.41 см были помещены в воду и выдерживались 2, 7, 28

суток, а затем испытаны на прочность при сжатии. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Гидравлическая активность цементов

Наименование цементов	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте, сутки		
	2	7	28
Цемент 1 (заводской)	27,0	38,0	70,0
Цемент 2 (смеси №1)	45,0	58,0	**92,0**
Цемент 3 (смеси №2)	34,0	66,0	**88,0**

Полученные цементы обладают пределом прочности на сжатие в возрасте 28 суток: цемент 2 - 92 МПа и цемент 3 - 88 МПа. Из табл. 3 видно, что для цемента 2 набор прочности происходит стабильно, активность клинкера, полученного на основании сырьевой смеси № 1 - суглинок - 4,1 %, глина Юрская (каолинитовая группа глин) - 16,81 %, высокая. Так как глины отличаются по наличию в сырьевой смеси SiO_2 в связанном виде.

1. Результаты химических анализов, а также физико-механические характеристики исходного некондиционного сырья позволяют сделать вывод, что данное кварцсодержащее сырье может использоваться в ограниченном количестве, так как обладает достаточной степенью пригодности для получения портландцемента.

2. Качество полученного цемента при использовании суглинка не уступает по качеству цементу, приготовленному из традиционного компонентного состава сырьевой смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геология с основами гидрологии: учеб. пособие / М-во сельского хоз-ва Рос. Федерации. Омский гос. аграрный ун-т; [Семенкин А. И. и др.]. — Омск: [ОмГАУ] , 2009. — 216 с. - ISBN 978-5-89764-282-3.

2. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.

3. Катаев, А. С., Брус, И. Д. Определение гранулометрического состава дисперсных материалов: метод. указание /А. С. Катаев, И. Д. Брус. — Томск: Томский политехнический университет, 2014 — 12 с.

4. Бутт Ю. М., Тимашев В. В. Портландцементный клинкер. Москва: Стройиздат, 1976. 304 с.

5. Классен, В.К. Влияние кварца на процессы минералообразования в промышленности строительных материалов / В.К Классен // Вестник БГТУ им. В.Г Шухова. — 2005. — № 10. — С. 96-99.

6. ГОСТ 31108 – 2020. Цементы общестроительные. Технические условия.

7. Альбац, Б. С., Коугия, М. В., Судакс, Л. С. Технические требования к цементному сырью. Москва: Концерн Цемент, 1996 — 94 с.

УДК 004.93:616

Новосельцев В.Д.
Научный руководитель: Коршак К.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБНАРУЖЕНИЕ ПНЕВМОНИИ НА РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКАХ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Пневмония остаётся одной из ведущих причин госпитализации и смертности в мире. Первичная диагностика опирается на рентгенографию грудной клетки, однако интерпретация снимков требует высокой квалификации врача-рентгенолога и занимает значительное время [1]. Автоматизация этого процесса методами компьютерного зрения позволяет сократить время постановки диагноза и снизить нагрузку на специалистов.

Цель работы — проверить гипотезу о том, что поэтапное усложнение пайплайна обработки (препроцессинг → аугментация → перенос обучения (transfer learning) → тонкая настройка (fine-tuning) → ансамблирование) даёт устойчивый прирост качества обнаружения пневмонии по сравнению с обучением базовой свёрточной сети с нуля.

Поток рентгеновских исследований в городской поликлинике достигает 1000–1500 снимков в месяц. До 40 % из них оказываются нормальными и не требуют углублённого анализа. Автоматическая сортировка снимков на «норма» / «требует внимания врача» позволяет высвободить время рентгенолога для сложных случаев [2].

Ключевое требование к такой системе — высокая полнота (Recall) при сохранении приемлемой точности (Precision), поскольку пропуск патологии опаснее ложноположительного срабатывания.

Пайплайн обработки включает пять последовательных этапов, каждый из которых вносит вклад в итоговое качество классификатора:

— препроцессинг: приведение к 224×224, нормализация по статистике ImageNet (крупнейшая открытая база изображений), устранение артефактов;

— аугментация: случайные повороты, сдвиги, горизонтальное отражение, изменение яркости и контраста;

— transfer learning: инициализация весов предобученной на ImageNet сети ResNet-50;

— fine-tuning: дообучение последних блоков сети с низкой скоростью обучения;

— ансамблирование: усреднение предсказаний трёх моделей с разными seed инициализации.

Качество классификатора оценивалось стандартными метриками [6]:

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (1)$$

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (2)$$

$$Recall = TP / (TP + FN) \quad (3)$$

$$F1 = 2 \cdot Precision \cdot Recall / (Precision + Recall) \quad (4)$$

где TP – True Positive; TN – True Negative; FP – False Positive; FN – False Negative.

Эксперимент проводился на синтетической выборке объёмом 3120 снимков, разделённой на обучающую (2496), валидационную (312) и тестовую (312) части. Классы сбалансированы. Обучение — 30 эпох, оптимизатор Adam (lr = 1e-4), батч 32.

На рисунке 1 приведена диаграмма-водопад, показывающая вклад каждого этапа пайплайна в итоговое значение F1.

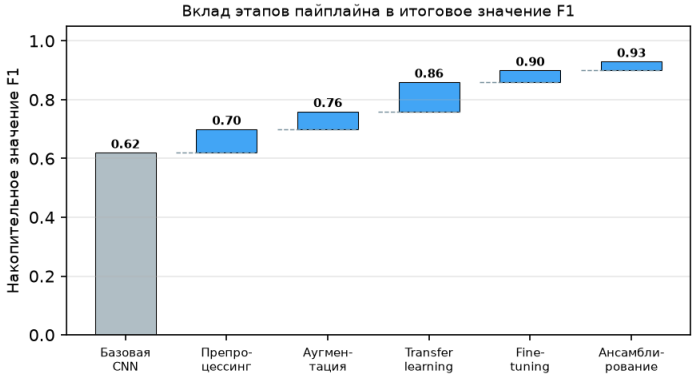


Рис. 1 Вклад этапов пайплайна в итоговое значение F1

Базовый вариант CNN с нуля обеспечивает F1 = 0,62. Добавление препроцессинга повышает метрику до 0,70, аугментации — до 0,76, transfer learning — до 0,86. Наибольший прирост даёт именно переход к предобученной сети. Fine-tuning и ансамблирование добавляют ещё +0,07 к итоговому значению.

На рисунке 2 профиль качества двух моделей — базовой CNN и финальной ResNet-50 — представлен в виде радар-диаграммы по пяти метрикам.

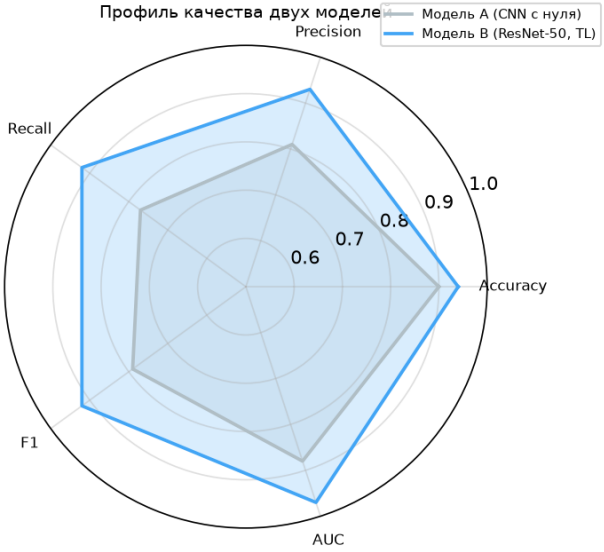


Рис. 2 Профиль качества двух моделей

Финальная модель B превосходит базовую по всем пяти метрикам. Наибольший разрыв наблюдается по Recall (0,92 против 0,77) и F1 (0,92 против 0,79), что критично для медицинской диагностики.

На тестовой выборке финальная модель допустила 18 ложноотрицательных и 17 ложноположительных срабатываний. Анализ показал, что ложные срабатывания приходятся на снимки низкого качества (недостаточная экспозиция, артефакты движения) и на случаи с сопутствующими патологиями, имитирующими пневмонию (отёк лёгких, фиброз).

Ложноотрицательные срабатывания преимущественно связаны с очаговыми формами пневмонии малого размера, которые сложно визуально отличить от нормальных структур даже опытному специалисту.

Основное ограничение работы — использование синтетической выборки. Для внедрения в клиническую практику требуется валидация на реальных данных с учётом разного парка рентгеновского оборудования и протоколов съёмки [3].

Перспективным направлением является переход от бинарной классификации к локализации патологических областей с помощью архитектур сегментации U-Net, а также применение методов объяснимого ИИ (Grad-CAM) для визуализации решений модели [4, 5].

В результате:

1. Предложен поэтапный пайплайн обработки рентгеновских снимков, включающий пять последовательных стадий.

2. Экспериментально показан вклад каждого этапа в итоговое значение F1: базовый вариант обеспечивает 0,62, финальный — 0,93.

3. Наибольший прирост качества достигается при переходе к transfer learning; последующие этапы дают дополнительный, но менее значительный эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шень Д., Ву Г., Сук Х. Deep Learning in Medical Image Analysis // Annual Review of Biomedical Engineering. 2017. Vol. 19. P. 221–248.

2. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кудрявцев Н.Д. и др. Искусственный интеллект в лучевой диагностике : монография. – М. : ГБУЗ НПКЦ ДиТ, 2021. – 268 с.

3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770–778.

4. Selvaraju R.R., Cogswell M., Das A. et al. Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization // International Journal of Computer Vision. – 2020. – Vol. 128. – P. 336–359.

5. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // MICCAI. – 2015. – P. 234–241.

6. Использование алгоритмов компьютерного зрения для выполнения гематологического анализа на основе кривой Прайс-Джонса / В. Г. Синюк, Д. С. Батищев, Е. С. Сойникова, В. М. Михелев

// Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45, № 3. – С. 537–546.

УДК 613.6.02

Носатова М.В.
Научный руководитель: Ястребинская А.В.., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

В соответствие с ГОСТ 12.1.007 вредным веществом (далее - ВВ) называется «вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания (ПЗ) или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений» [8]. Из данного определения следует, что длительный контакт работника хотя бы с одним ВВ, даже незначительно превышающего нормативное значение, формирует риск развития заболевания. При сочетанном воздействии таких факторов производства, как вибрация, шум, повышенная относительная влажность и температура, а также тяжёлый физический труд, усиливается действие ВВ на организм работника [1].

Цель работы – провести анализ состояния профессиональной заболеваемости от воздействия ВВ.

Известно, что ВВ по характеру воздействию на организм человека делятся на 6 групп и 4 класса опасности (см. табл.) [2, 8]. Классы опасности учитывают предельно допустимую концентрацию (ПДК) веществ в воздухе рабочей зоны, т. к. в производственных условиях при штатном режиме работы основным путем поступления ВВ является ингаляционный.

Таблица – Классы опасности и группы вредных веществ

Класс опасности		*Наименование группы*
1 - чрезвычайно опасные	ПДК < 0,1 мг/м^3	общетоксические
		раздражающие
2 - высокоопасные	ПДК 0,1÷ 1мг/м^3	сенсибилизирующие
		канцерогенные

3 - умеренно опасные	ПДК 1,1÷ 10,0 мг/м^3	мутагенные влияющие на репродуктивную функцию
4 - малоопасные	ПДК > 10,0 мг/м^3	

Часто при реализации технологических процессов ВВ могут поступать в воздух в виде газов. Они могут образовываться в больших количествах при испарении жидкостей, особенно летучих. Испарение с поверхности твёрдых веществ тоже происходит, но процесс идёт достаточно медленно. Более опасными для работников является дисперсная форма твёрдых веществ – пыль, которая, попадая в воздух образует с ним аэрозоль. Он представляет более серьёзную опасность. Пыль классифицируют по ряду признакам, основные приведены на рисунке 1.

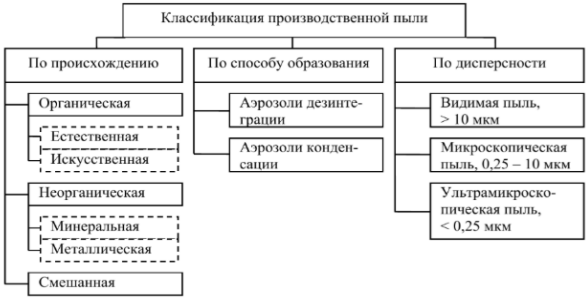


Рис. 1. Классификация пыли

К указанным можно добавить признаки, позволяющие конкретизировать свойства пылевых частиц, влияющие на характер и последствия их воздействия на работника. Такие как, форма частиц, растворимость в воде, наличие поверхностного заряда и др.

Свойства пыли и других ВВ обязательно учитываются при выборе средств защиты как коллективной, так и индивидуальной.

Однако, как показывают статистические данные, несмотря на внедрение устройств защиты от ВВ, изменения технологий, применения средств контроля за их содержанием в воздухе рабочей зоны и т. п., условия труда при их оценке остаются вредными во многих отраслях. В первую очередь, это относится к горнодобывающей промышленности, обрабатывающим производствам, металлургии, производству строительных материалов и др. [1, 4–7]. Т. е. в тех технологиях, где

необходимо дробить, измельчать сырьевые материалы и полупродукты, а также распылять, шлифовать, сверлить, применять сварку и т. п.

Нужно отметить, что при оценивании содержания ВВ в воздухе рабочей зоны на соответствие требований нормативов устанавливаются 2 фактора: химический и физический. Физический фактор, в этом случае, представлен аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД) [10].

Связано это с тем, что АПФД в основном действуют на лёгкие, усиливают в них синтез белка, приводя к фиброзу и развитию таких заболеваний, как пневмокониоз, пылевой бронхит, онкология [2, 9].

Преобладающие ПЗ от воздействия ВВ позволяет определить статистика. По данным государственного доклада Роспотребнадзора «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2025 году» (далее - Доклад) структура основных нозологических форм ПЗ, связанных с воздействием химических веществ по Российской Федерации выглядит следующим образом (см. рис. 2) [3].

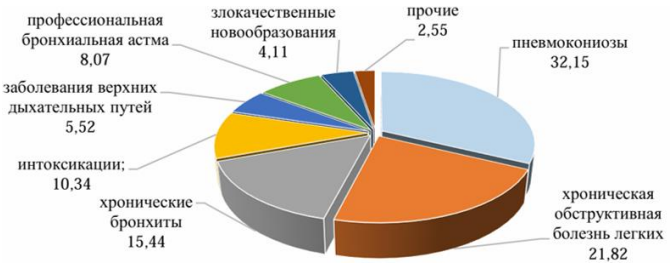


Рис. 2. Структура основных нозологических форм профессиональных заболеваний, связанных с воздействием химических веществ по Российской Федерации за 2025 г., %

Как видно из рисунка 2, на долю ПЗ органов дыхательной системы приходится более 85 %. Кожные покровы работников защищены более надёжно.

Согласно сведениям из Доклада, в структуре профессиональной патологии на долю ПЗ от воздействия химического фактора приходится 20,53 %, что соответствует 3-й позиции в антирейтинге.

Если проанализировать динамику изменений доли ПЗ от воздействия химического фактора с 2021 по 2025 гг., то можно установить, что за рассматриваемый период она возросла (см. рис. 3). И это несмотря на то, что в настоящее время применяются комплексные меры, включающие *технологические* решения (например, замена вещества более вредного на менее), *технические и*

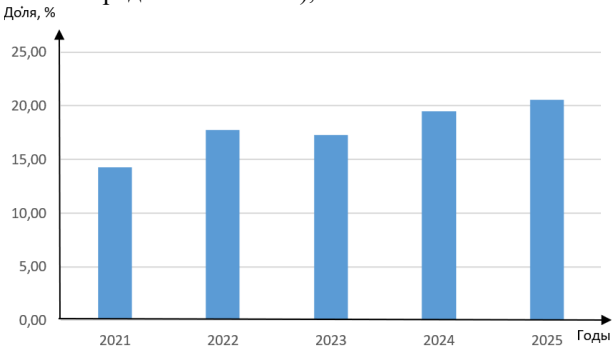


Рис. 3. Доля, приходящаяся на ПЗ, связанные с химическим фактором, за период 2021 -2025 гг.

гигиенические (например, автоматизация производства, герметизация оборудования, применение механической вентиляции, аспирационных систем), *организационные,* связанные с сокращением продолжительности рабочего дня и увеличением перерывов во время работы, *лечебно-профилактические (*выдача молока, специально подобранное питание*)*, и обязательно применение *индивидуальных средств защиты.*

Таким образом, анализ состояния ПЗ при воздействии ВВ за период с 2021 по 2025 годы показал, что число установленных заболеваний, связанных с воздействием химического фактора производства, преимущественно не снижается. В структуре профессиональной патологии в зависимости от вида действующего фактора они находятся на 3-й позиции. В 2025 году их доля составила 20,53 % без учёта ПЗ, связанных с АПФД. Это указывает на недостаточность принимаемых мер защиты от них. Необходимо проводить детальное исследование каждого рабочего места на производствах, где есть риск воздействия ВВ, с целью выявления их специфики, особенностей обращения в технологическом процессе, недостатков конструкций используемого оборудования, оценивании

эффективности средств защиты, порядка проведения инструктажей по их применению, качества медицинских профилактических осмотров и других мер, реализуемых в организации направленных на минимизацию влияния на работника ВВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник / С. Б. Белов — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2011. — 680 с.

2. Глебова Е. В. Производственная санитария и гигиена труда: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Техносферная безопасность" / Е. В. Глебова. — Москва: Академия, 2014. — 351 с.

3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2025 году: Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2026. – 407 с.

4. Сюрин С.А. Профессиональные болезни органов дыхания от воздействия фиброгенной пыли и аэрозолей химических веществ на предприятиях в Арктической зоне Российской Федерации / С.А. Сюрин // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 4. - С. 51-60.

5. Чеботарёв А.Г. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горнометаллургических предприятий / А.Г. Чеботарёв, Д.Д. Семенцова // Горная промышленность. – 2021. – № 1 – С. 114–119.

6. Фадеев А. Г. Вредные вещества в воздухе рабочей зоны горнодобывающего сектора металлургической промышленности как факторы риска для здоровья работников (аналитический обзор) / А.Г. Фадеев, Д.В. Горяев, П.З. Шур, Н.В. Зайцева, В.А. Фокин, С.В. Редько// Анализ риска здоровью.– 2024. – № 2. – С. 153–161.

7. Ястребинская А.В. Профессиональные заболевания работников горнорудной промышленности: анализ и профилактика / А.В. Ястребинская., А.С. Едаменко, О.Н. Томаровщенко, И.В. Канивец //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – Т. 14. – № 2 (70). – С. 202-209.

8. ГОСТ 12.1.007–76 «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности». М.: Стандартинформ, 2007. -7 с.

9. ГОСТ Р 54578 2011 «Воздух рабочей зоны. Аэрозоли

преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия». М: Стандартинформ, 2012. - 15 с.

10. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/(дата обращения: 29.09.2026).

УДК 004.9:519.872

Нудной С.Н.
Научный руководитель: Листровая Е.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК ПО РЕМОНТУ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Современные сервисные центры по ремонту компьютерной техники функционируют в условиях случайного потока заявок и ограниченного числа мастеров. Необоснованный выбор количества каналов обслуживания приводит либо к росту очереди и отказу клиентов, либо к простою дорогостоящих специалистов. Согласно рекомендациям Information Technology Infrastructure Library (ITIL), эффективное управление инцидентами и запросами на обслуживание является ключевым фактором качества оказания IT-услуг [1]. Применение теории массового обслуживания (ТМО) позволяет не только описать процесс заявок автоматически, но и научно обосновать управленческие решения: сколько мастеров необходимо, какова вероятность отказа, как изменится время ожидания при изменении интенсивности потока [3]. Целью данного исследования является проведение анализа информационной системы обработки заявок сервисного центра как многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью и выбор оптимального режима её функционирования.

В рамках данной работы сервисный центр рассматривается как объект, где поток клиентов носит случайный характер, а время проведения ремонта заранее неизвестно. Такой объект описывается аппаратом ТМО [2]. Допустим, что в сервисном центре работают n = 3

мастера (канала обслуживания). Поток заявок принят простейшим – это является классическим допущением для сервисных систем. Интенсивностью потока задана на уровне $\lambda = 10$ обращений в день. Время обслуживания заявки распределено по экспоненциальному закону. Очередь ограничена четырьмя местами ($m = 4$). При заполнении всех мест новому клиенту отказывают в обслуживании. Принято допущение «одна заявка – один мастер», что соответствует практике большинства сервисных центров и рекомендациям ITIL (один ответственный исполнитель на инцидент) [1, 4]. Требуется сравнить два варианта организации работы:

— Вариант А: средняя интенсивность обслуживания одного мастера $\mu_a = 3$ заявки/день;

— Вариант Б: средняя интенсивность обслуживания $\mu_b = 4$ заявки/день (например, за счет повышения квалификации или автоматизации диагностики).

Необходимо для каждого варианта определить: трафик-интенсивность, предельные вероятности состояний, вероятность отказа $P_{отк}$, относительную g и абсолютную A пропускные способности, среднее число занятых каналов $\bar{k}$, среднюю длину очереди $\bar{r}$, среднее число заявок в системе h, среднее время ожидания $t_{ож}$ и среднее время пребывания заявки в системе $t_{сист}$. По результатам расчетов необходимо выбрать наиболее эффективный вариант.

Граф состояний рассматриваемой СМО ($n = 3$, $m = 4$) представлен ниже. Состояния: S_0 – все каналы свободны; S_1 – занят один канал; S_2 – заняты два канала; S_3 – заняты все три канала; S_4 – заняты все каналы и одно место в очереди; S_5 – заняты все каналы и два места в очереди; S_6 – заняты все каналы и три места в очереди; S_7 – заняты все каналы и все четыре места в очереди (предельное состояние).

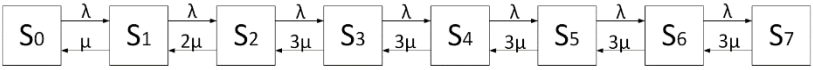


Рис.1. Граф состояний и переходов многоканальной СМО с ограниченной очередью ($n = 3$, $m = 4$)

Состояние дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний $P_i(t)$ имеет вид (1):

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -\lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 \\ \dfrac{dP_1}{dt} = \lambda \cdot P_0 - (\lambda + \mu) \cdot P_1 + 2\mu \cdot P_2 \\ \ldots \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{dP_7}{dt} = \lambda \cdot P_6 - 3\mu \cdot P_7 \quad ,$$

Приравняв производные к нулю, получим следующую систему однородных уравнений для предельных вероятностей [2]. В общем случае для многоканальной СМО с ограниченной очередью справедливы отношения (2):

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot P_0 \, , \; k = 1, \ldots, n$$
$$P_{n+r} = \frac{\rho^{n+r}}{n! \cdot n^r} \cdot P_0 \, , \; r = 1, \ldots, m \qquad (2)$$

где $\rho = \lambda/\mu$ – трафик-интенсивность. Вероятность простоя P_0 находится из условия нормировки (3):

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{n} \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{r=1}^{m} \frac{\rho^{n+r}}{n! \cdot n^r} \right]^{-1} \qquad (3)$$

Клиент может получить отказ в том случае, когда на момент его прихода все n мастеров и все m мест в очереди уже заняты (4).

$$P_{отк} = P_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n! \cdot n^m} \cdot P_0 \qquad (4)$$

Относительная пропускная способность $g = 1 - P_{отк}$; абсолютная способность $A = \lambda \cdot g$; среднее число занятых каналов $\bar{k} = A/\mu$. Средняя длина очереди $\bar{r}$ вычисляется по формуле (5):

$$\bar{r} = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot P_0 \cdot (1 + 2k + 3k^2 + \ldots + m \cdot k^{m-1}) \qquad (5)$$

где $k = \rho/n$. Среднее число заявок в системе $h = \bar{k} + \bar{r}$. Среднее время ожидания $t_{ож} = \bar{r}/\lambda$, среднее время пребывания $t_{сист} = t_{ож} + g/\mu$.

Подставляя исходные данные для вариантов А и Б, получаем значения, сведенные в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики СМО для двух вариантов

Параметр	**Обозначение**	**Вариант А ($\mu_a = 3$)**	**Вариант Б ($\mu_b = 4$)**
Трафик-интенсивность	ρ	3,33	2,50
Вероятность простоя	P_0	0,021	0,063
Вероятность отказа	$P_{отк}$	0,194	0,079
Относительная пропускная способность	g	0,806	0,921

Абсолютная пропускная способность	A	8,06	9,21
Среднее число занятых каналов	$\bar{k}$	2,69	2,30
Средняя длина очереди	$\bar{r}$	1,76	0,96
Среднее число заявок в системе	h	4,45	3,26
Среднее время ожидания, ч	$t_{ож}$	4,22	2,30
Среднее время в системе, ч	$t_{сист}$	10,67	7,82

Анализ таблицы показывает, что при увеличении интенсивности обслуживания с $\mu_a = 3$ до $\mu_b = 4$ (например, за счет повышения квалификации мастеров или автоматизации диагностики):

— Вероятность отказа снижается с 19,4% до 7,9%;

— Абсолютная пропускная способность растет с 8,06 до 9,21 заявок/день;

— Среднее время ожидания в очереди уменьшается почти вдвое с 4,22 до 2,30 ч;

— Среднее время пребывания заявки в системе сокращается с 10,67 до 7,82 ч;

— Загрузка мастеров ƙ/n снижается с 0,90 до 0,77, что снижает риск переутомления.

В реальной работе сервисного центра поток заявок неоднороден: можно выделить простые заявки (замена комплектующих, чистка, переустановка операционной системы) и сложные (залитие, пайка BGA, замена материнской платы). Для учета этого фактора введем два класса заявок с интенсивностями λ_1 и λ_2 и относительными приоритетами. Тогда среднее время ожидания для заявок каждого класса рассчитывается по формулам для СМО с относительными приоритетами [2]. Это позволяет получить более точные оценки для сложных случаев, не выходя за рамки аналитической модели.

Помимо вероятностных характеристик, модель позволяет решить задачу оптимизации каналов. Целевая функция затрат учитывает стоимость рабочих мест, заработную плату мастеров и потери от отказов в обслуживании. Численное решение показывает, что при заданных λ и μ оптимальное число мастеров составляет $n = 3$ (при $\mu = 4$) или $n = 4$ (при $\mu = 3$). Это дает руководителю инструмент для

обоснованного выбора стратегии: нанимать нового мастера или повышать производительность существующих.

В работе проведен анализ информационной системы обработки заявок сервисного центра по ремонту компьютерной техники с использованием теории массового обслуживания. Построена многоканальная СМО с ограниченной очередью, рассчитаны её вероятностные характеристики для двух вариантов интенсивности обслуживания. Показано, что увеличение интенсивности обслуживания является более эффективным рычагом, чем простое наращивание мастеров: при штате сотрудников n = 3 удается почти вдвое сократить время ожидания в 2,5 раза снизить вероятность отказа. Полученные зависимости могут быть интегрированы в информационную систему для обработки заявок для автоматического прогноза загрузки и обоснования управленческих решений. Дальнейшее развитие работы предполагает объединение модели СМО с нечеткой приоритезацией заявок, что позволит учитывать не только количественные, но и качественные характеристики потока, а также переход к сетям массового обслуживания для сложных заявок, требующих последовательной обработки несколькими специалистами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гахова, Н. Н., Катков, К. А. Моделирование процессов управления инцидентами в информационной системе IT-компании [Текст] / Н. Н. Гахова, К. А. Катков // Научный результат. Информационные технологии. — 2017. — № 2. — С. 11-17.

2. Доброхотов, Ю. Н. Основы теории массового обслуживания : учебно-методическое пособие [Текст] / Ю. Н. Доброхотов — Чебоксары: ЧГСХА, 2018 — 82 с.

3. Дуюн, И. А., Чуев, К. В. Оценка эффективности работы гибких производственных систем и роботизированных комплексов с использованием имитационного моделирования [Текст] / И. А. Дуюн, К. В. Чуев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2021. — № 4. — С. 91-100.

4. Ингланд, Р. Овладевая ITIL : скептическое руководство для ответственных лиц / под ред. О. Скрынник: пер. Р. Журавлев, М.: Лайвбук, 2011 – 200 с. – ISBN 978-5-904584-13-9

УДК 69:004.9

Пеньков А.А., Рыбакова А.А.
Научный руководитель: Пахомов В.Е., асс.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В строительстве постоянно требуется актуальная информация о состоянии площадки, ходе работ и геометрии объекта. Традиционно такие данные получают при наземных обходах, инструментальных измерениях и обследованиях непосредственно на объекте. Однако на больших территориях, на высоте или в труднодоступных зонах такой подход требует значительных затрат времени и повышает требования к организации работ.

Одним из направлений цифровизации строительства стало использование беспилотных летательных аппаратов. Оснащённые камерами и другими сенсорами БПЛА позволяют выполнять съёмку территории, получать серии изображений для фотограмметрической обработки, формировать облака точек и трёхмерные модели, а также документировать изменения на площадке [1–4]. Важно, что практическая ценность беспилотной съёмки определяется не самим фактом полёта, а тем, насколько полученные данные помогают решать конкретные инженерные задачи.

Цель исследования – определить возможности и ограничения применения БПЛА в строительстве на основе сравнения беспилотной и традиционной съёмки, а также сопоставления типов аппаратов и датчиков с основными задачами мониторинга и обследования.

В работе использованы публикации, посвящённые применению беспилотных систем в строительстве, дистанционному зондированию и мониторингу строительных площадок [1–6], а также нормативные документы, регулирующие использование воздушного пространства [7, 8]. В качестве методов применялись анализ научной литературы, сравнительное сопоставление, систематизация и обобщение. Сравнение проводилось по доступности труднодоступных участков, скорости получения данных, характеру информации, возможностям построения пространственной модели и основным ограничениям.

Анализ публикаций показывает, что в строительстве БПЛА чаще всего используются в четырёх направлениях: геодезическая и обзорная

съёмка строительной площадки, мониторинг хода работ, обследование фасадов, кровель и других высотных участков, а также получение исходных данных для цифровых моделей [1, 2, 4]. Регулярная съёмка позволяет фиксировать фактическое состояние объекта на разных этапах и сравнивать его с проектной документацией или BIM-моделью.

Преимущество беспилотной технологии особенно заметно в тех случаях, когда требуется быстро получить общую картину по большой территории или осмотреть участок, доступ к которому с земли затруднён. Для таких задач мультикоптеры удобны возможностью зависания и маневрирования в стеснённых условиях, тогда как самолётные схемы эффективнее при охвате протяжённых площадей [1, 4]. Наиболее распространённым сенсором остаётся RGB-камера, используемая для фото- и видеосъёмки и фотограмметрической обработки. LiDAR применяют там, где требуется получение пространственных данных в более сложных условиях [4, 6].

Сравнение с традиционными наземными методами показывает, что БПЛА не заменяют контактные измерения и детальные инструментальные обследования. Наземные технологии необходимы там, где требуется высокая точность отдельных параметров, проверка состояния материала или непосредственный доступ к конструкции. Поэтому наиболее рациональным является комбинированный подход: беспилотная съёмка используется для оперативного обзора, фиксации динамики и поиска проблемных зон, а наземные методы – для уточнения и подтверждения результатов.

Следует учитывать и ограничения технологии. На качество результата влияют погодные условия, освещение, временные препятствия на строительной площадке и особенности поверхностей. Кроме того, после полёта необходима обработка собранных материалов в специализированном программном обеспечении. Это означает, что внедрение БПЛА требует не только оборудования, но и подготовленных специалистов [3–6]. Отдельное значение имеют требования безопасности и правила использования воздушного пространства [7, 8].

Таблица 1 – Сравнение способов получения данных на строительном объекте

Критерий	Наземный метод	БПЛА	Практическое значение
Обзор территории	Ограничен положением специалиста и условиями доступа	Позволяет быстро охватить значительную часть площадки	БПЛА удобны для первичной фиксации общего состояния объекта
Высотные и труднодоступные участки	Часто требуется подъёмная техника или выход в опасную зону	Осмотр выполняется дистанционно без подъёма человека	Снижается трудоёмкость визуального обследования
Тип данных	Контактные измерения, локальные наблюдения	Фото, видео, материалы для фотограмметрии и 3D-моделей	БПЛА дают обзорные и пространственные данные, наземные методы – детальную проверку
Зависимость от внешних условий	Обычно ниже	Сильнее зависит от погоды, освещения и препятствий	Полёты требуют более тщательного планирования
Главное ограничение	Труднодоступность отдельных зон и большие затраты времени	Не заменяет все виды инструментального и контактного контроля	Наиболее эффективен комбинированный подход

Проведённый анализ показывает, что БПЛА являются эффективным инструментом получения информации о строительном объекте, особенно при съёмке больших территорий, мониторинге прогресса работ и обследовании труднодоступных участков. Их основное преимущество состоит в возможности быстро собрать обзорные и пространственные данные, пригодные для последующей фотограмметрической обработки и формирования цифровых моделей.

Вместе с тем беспилотные технологии не следует рассматривать как полную замену традиционным методам. Наиболее рациональный вариант – совместное использование воздушной съёмки и наземных

обследований. В этом случае БПЛА становятся частью цифровой системы контроля, повышающей оперативность и полноту информации о состоянии объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhou S., Gheisari M. Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review // Construction Innovation. – 2018. – Vol. 18, No. 4. – P. 453–468. – DOI: 10.1108/CI-02-2018-0010.

2. Jacob-Loyola N., Muñoz-La Rivera F., Herrera R.F., Atencio E. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Physical Progress Monitoring of Construction // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 12. – Article 4227. – DOI: 10.3390/s21124227.

3. Gupta S., Nair S. A review of the emerging role of UAVs in construction site safety monitoring // Materials Today: Proceedings. – 2023. – DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.135.

4. Guan S., Zhu Z., Wang G. A Review on UAV-Based Remote Sensing Technologies for Construction and Civil Applications // Drones. – 2022. – Vol. 6, No. 5. – Article 117. – DOI: 10.3390/drones6050117.

5. Liang H., Lee S.-C., Bae W., Kim J., Seo S. Towards UAVs in Construction: Advancements, Challenges, and Future Directions for Monitoring and Inspection // Drones. – 2023. – Vol. 7, No. 3. – Article 202. – DOI: 10.3390/drones7030202.

6. ISO 21384-3:2026. Uncrewed aircraft systems – Part 3: Operational procedures. – Geneva: International Organization for Standardization, 2026.

7. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 № 60-ФЗ.

8. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».

УДК 691.8

Перервенко Р.С., Сальников Д.А.
Научный руководитель: Сальникова А.С., канд. техн. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ПОЛОВ ЧЕРДАЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Чердачные помещения и кровля являются одними из главных путей теплопотерь в здании. По оценкам специалистов, через недостаточно утеплённые чердачные перекрытия может теряться до 20-30 % тепла, что напрямую влияет как на комфорт проживания, так и на затраты на отопление [1]. В данной работе рассматриваются материалы для утепления именно полов чердака – горизонтальных перекрытий, по которым перемещаются при обслуживании помещения. К таким конструкциям предъявляются дополнительные требования: способность воспринимать пешеходную нагрузку, устойчивость к истиранию, возможность устройства ходовых дорожек.

Наиболее распространённым материалом для утепления чердачных перекрытий остаётся минеральная вата. Её коэффициент теплопроводности составляет 0,035-0,050 Вт/(м·К). Базальтовая вата относится к классу негорючих материалов и выдерживает температуру до 1000 °С, что делает её предпочтительным выбором для чердачных помещений. Однако при увлажнении теплоизоляционные свойства минеральной ваты резко снижаются, что требует тщательной защиты от влаги. Для полов чердака важно, что по минеральной вате нельзя ходить без специального настила — она легко сминается, поэтому поверх утеплителя обычно устраивают ходовые дорожки. Стоимость утепления минераловатными плитами повышенной жёсткости составляет 2-2,5 тыс. руб./м².

Пенополистирол и его более плотная разновидность – экструдированный пенополистирол – привлекают внимание низкой теплопроводностью (0,029-0,039 Вт/(м·К)) и способностью выдерживать нагрузки. Для эффективного утепления чердака требуется слой толщиной около 20 см. Однако пенополистирол относится к горючим материалам, и его применение для чердачных перекрытий может привести к интенсивному горению. Кроме того, он практически паронепроницаем, что требует устройства дополнительной вентиляции. Для полов чердака пенополистирол удобен тем, что по нему можно

ходить, а при необходимости поверх него устраивают стяжку или настил.

Ещё более высокими теплоизоляционными характеристиками обладает пенополиуретан. Его коэффициент теплопроводности составляет 0,022-0,030 Вт/(м·К), что значительно ниже, чем у минеральной ваты и пенополистирола. Пенополиуретан может наноситься напылением, обеспечивая бесшовное покрытие сложной геометрии. Однако он относится к горючим материалам и при горении выделяет токсичные вещества. Для полов чердака напыляемый пенополиуретан создаёт монолитную поверхность, по которой можно ходить после отверждения. Утепление пенополиуретаном обходится дороже, чем использование других видов утеплителей, что ограничивает его широкое применение.

Среди традиционных материалов широко применяется керамзит – утеплитель, получаемый путём обжига глинистого сырья. Его коэффициент теплопроводности составляет 0,10-0,18 Вт/(м·К). Для эффективного утепления требуется слой толщиной около 40 см. Керамзит негорюч, экологичен и может равномерно заполнять пустоты. Исследования показывают, что для утепления чердачных перекрытий рекомендуется использовать облегчённый керамзитовый гравий насыпной плотностью 200-250 кг/м³, который в отличие от минераловатных плит повышенной жёсткости является негорючим, не теряет эксплуатационных свойств в течение продолжительного времени (50 лет и более) и не требует устройства поверх теплоизоляционного слоя защитной стяжки [2]. Утепление чердачного перекрытия в виде засыпки из облегчённого керамзитового гравия толщиной 350-400 мм полностью соответствует современным теплотехническим нормативам для средней полосы России и значительно дешевле традиционного варианта с минераловатными плитами [2]. По полу, засыпанному керамзитом, можно ходить, но при этом возможно смещение гранул, поэтому сверху обычно устраивают стяжку или настил.

Наряду с традиционными материалами всё большее распространение получает эковата – целлюлозный утеплитель, изготавливаемый из переработанной бумаги с добавлением антипиренов и антисептиков. По теплопроводности эковата (0,038-0,040 Вт/(м·К)) практически не уступает минеральной вате. Эковата обрабатывается антипиренами, что придаёт ей свойства трудногорючего материала. Она наносится методом задувки, что позволяет заполнять сложные конструкции, где плитный утеплитель неэффективен, и не боится влаги. Исследование свойств эковаты в

каркасном деревянном здании после длительной эксплуатации с переменным режимом отопления показало, что в слое эковаты обследованных каркасных стен и чердачного перекрытия влага не накапливается, а через утеплитель и элементы ограждающих конструкций выходит наружу. Следов плесени не обнаружено, сорбционная влажность составляла не более 16% [3, 4]. Для полов чердака эковата после задувки образует достаточно плотный слой, по которому можно ходить, но при этом возможно уплотнение материала в местах постоянного передвижения.

Особое место среди материалов для утепления полов чердака занимает пенобетон – ячеистый бетон, получаемый путём введения в растворную смесь технической пены. Для утепления чердачных перекрытий применяется монолитный пенобетон естественного твердения. Его коэффициент теплопроводности при плотности 160 кг/м³ составляет 0,078 Вт/(м·К). Это выше, чем у полимерных утеплителей, но ниже, чем у керамзита. Исследования показали, что утечка тепла через чердачные перекрытия составляет 10-20% суммарного количества в зависимости от этажности здания. Наиболее дешёвым и долговечным утеплителем, применяемым в чердачных перекрытиях, является монолитный пенобетон естественного твердения [5]. Разработанная расчётно-экспериментальная методика позволяет получать пенобетон с задаваемой средней плотностью в интервале 100-190 кг/м³ [5]. Для полов чердака пенобетон заливается монолитно, образуя прочную поверхность, по которой можно ходить без дополнительного настила. Однако традиционные цементные пенобетоны имеют длительные сроки твердения и значительную усадку, что может приводить к трещинообразованию. Применение гипсоцементных вяжущих позволяет устранить эти недостатки. Композиционное вяжущее с использованием опоковидного мергеля и пенобетонных смесей для монолитного строительства показало свою эффективность [5]. Пенобетон также рассматривается как перспективный теплоизоляционный материал с точки зрения устойчивого строительства [6].

Сопоставление рассмотренных материалов позволяет выявить их ключевые различия применительно к утеплению именно полов чердака. Минеральная вата, керамзит и пенобетон являются негорючими, что важно для чердачных помещений. Пенополистирол и пенополиуретан горючи, что ограничивает их применение. Эковата относится к трудногорючим материалам. По способности выдерживать пешеходную нагрузку наиболее удобны пенополистирол,

пенополиуретан и пенобетон, тогда как минеральная вата и эковата требуют защитного настила. По стоимости наиболее доступными являются пенобетон и эковата, тогда как пенополиуретан и минеральная вата требуют более значительных затрат. Сравнительные характеристики материалов приведены в таблице [7, 8].

Таблица – Сравнительные характеристики материалов для утепления полов чердаков

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Горючесть	Способность воспринимать нагрузку	Стоимость, руб./м²
Минеральная вата	0,035-0,050	НГ	Требует настила	2000-2500
Пенополистирол	0,029-0,039	Г3-Г4	Выдерживает	1000-1500
Пенополиуретан	0,022-0,030	Г3	Выдерживает	3000-4000
Керамзит	0,10-0,18	НГ	Требует стяжки	1200-1300
Эковата	0,038-0,040	Трудногорючий	Уплотняется	460-690
Пенобетон	0,078	НГ	Выдерживает	101-200

Проведённый анализ показывает, что выбор материала для утепления полов чердачных помещений зависит от комплекса факторов: требуемого уровня теплоизоляции, требований пожарной безопасности, необходимости воспринимать пешеходную нагрузку и бюджета. Минеральная вата является универсальным решением, сочетающим негорючесть с хорошими теплоизоляционными свойствами, но требует устройства ходовых дорожек. Пенополистирол и пенополиуретан обеспечивают наилучшую теплоизоляцию и удобны для хождения, но требуют дополнительных мер пожарной безопасности. Керамзит и эковата могут рассматриваться как экономичные варианты, однако первый требует значительной толщины слоя, а второй уплотняется под ногами. Пенобетон представляет собой перспективное направление, сочетающее низкую стоимость, негорючесть, возможность монолитной заливки и достаточную прочность для восприятия пешеходной нагрузки, а применение гипсоцементных вяжущих позволяет дополнительно улучшить его технологические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таратута, В.Д. Теплопотери через ограждающие конструкции зданий / В.Д. Таратута, А.М. Блягоз // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов: Сборник тезисов по материалам Международной конференции, Краснодар, 03-04 апреля 2018 года / Отв. за выпуск А.Г. Кощаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 38.
2. Шигапов, Р.И. Использование облегченного керамзита для утепления чердачных перекрытий / Р.И. Шигапов, Д.А. Синицин, А.Р. Бикташева, И.В. Недосеко // Строительные материалы. – 2020. – № 4-5. – С. 104-108. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-104-108.
3. Иванов, А.Н. Пенобетон заданной средней плотности для утепления чердачных перекрытий / А.Н. Иванов, М.А. Трембицкий // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 8(26). – С. 19-24.
4. Шаталова, С.В. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем / С.В. Шаталова, Н.В. Чернышева, Е.С. Глаголев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 10. – С. 11-18. – DOI 10.34031/article_5db331a5c52049.41127542.
5. Глаголев, Е.С., Воронов В.В. Композиционное вяжущее с использованием опоковидного мергеля и пенобетонных смесей для монолитного строительства / Е.С. Глаголев, В.В. Воронов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 8. С. 109-116. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5b6d586da74f79.11389696.
6. Amran, M. Fibre-reinforced foamed concretes: A review / M. Amran, H. Alabduljabber, R. Fediuk [et al.] // Materials. – 2020. – Vol. 13, No. 19. – P. 1-36. – DOI 10.3390/ma13194323.
7. Трепалин, Д.В. Оптимизация технологических параметров формования мелкофракционного керамзита из малопластичного сырья / Д.В. Трепалин, Д.А. Мишин, Ю.Н. Трепалина [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 9. – С. 62-70.
8. Портнягин, Д.Г. Свойства эковаты в каркасном деревянном здании после длительной эксплуатации с переменным режимом отопления / Д.Г. Портнягин, Д.Л. Першин, И.А. Иванов // ИВД. 2020. №5 (65).

УДК 691.5

Пириева Л.Ю., Василов Д.А., Сопов А.Н.
Научный руководитель: Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБОНАТНО-АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В мировой строительной индустрии широко используются природные смешанные породы. Целью такой практики является оптимизация сырьевых ресурсов, которые за счет определенного потенциала, заложенного природой, требуют минимальных материальных и энергетических затрат на обработку [1]. Наглядным примером такого ресурса служит мергель (часто называемый «глинистым известняком») – осадочная горная порода смешанного глинисто-карбонатного состава, широко распространенная в Европе, Северной Америке, Азии и Африке. Исторически он использовался преимущественно как компонент цементного сырья [2], однако современные технологии позволили расширить спектр его применения до создания экологичных строительных композитов [3, 4].

На цементных заводах стран Европейского Союза мергель является одним из ключевых природных источников карбонатно-глинистого сырья. Его уникальность состоит в том, что он представляет собой готовую природную шихту. При этом свойства породы напрямую предопределяются соотношением глинистых и карбонатных фаз (кальцита и арагонита), что является одним из ключевых факторов, которые дают возможность рассматривать его применение для широкого диапазона строительных материалов – от производства вяжущих веществ до дорожного строительства [5].

При производстве портландцемента мергель входит в состав сырьевой смеси для обжига клинкера. Применение мергеля в данном случае исключает необходимость сложной подготовки и дозирования отдельных компонентов сырьевой шихты, за счет оптимального соотношения в его составе необходимого оксида кальция и глинистой фракции (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3) [6].

Европейский подход к использованию мергеля обладает следующими преимуществами:

– стабильность химического состава (природный мергель, как правило, обладает более стабильным химико-минералогическим составом в пределах конкретного месторождения, чем искусственно составленные смеси из известняка и глины; это является критически важным фактором, позволяющим обеспечить непрерывность и стабильность производственного процесса);

– простота технологии (применение мергеля позволяет исключить из производственного процесса ряд технологических переделов, таких как подготовка и помол отдельных сырьевых компонентов, что существенно упрощает технологический процесс и снижает материальные издержки);

– логистическая и экологическая эффективность (использование местных сырьевых ресурсов закономерно снижает затраты на транспортировку сырьевых компонентов и, как следствие, сопутствующие выбросы CO_2 от работы грузового транспорта).

Большое количество предприятий, в частности в Германии (Рейнско-Вестфальский регион) и Чехии, активно используют мергелевые отложения низкой плотности, которая является определяющим фактором размолоспособности породы, а следовательно, напрямую влияет на энергоемкость процесса помола. Применение таких пород позволяет снизить энергозатраты на 10–15 % [7].

Мергель также активно используется при производстве портландцемента в странах Северной Америки (США, Канада). Основные центры добычи сосредоточены в районах с обширными отложениями карбонатно-глинистых пород, таких как Техас, Канзас и Невада. Здесь акцент делается на стандартизации качества сырья в соответствии с нормами ASTM (American Society for Testing and Materials – национальные стандарты США для материалов, продуктов и услуг, широко применяемые в мировой практике).

В странах Ближнего Востока и Азии (Турция, Саудовская Аравия, ОАЭ, Иран) также распространены месторождения кремнисто-карбонатных мергелей. При этом необходимо отметить, что в данном регионе эти породы часто используются не только как основное сырье для производства портландцементного клинкера, но и как активная минеральная добавка в цемент (в объеме 10–15 %), которая позволяет одновременно регулировать сроки схватывания и повышать долговечность бетона в условиях жаркого климата [8].

Мергель также нашел свое применение в керамической промышленности Европы – его используют при производстве

легковесных эффективных стеновых материалов. Технология основана на том, что в ходе термической обработки карбонатная часть мергеля разлагается с выделением углекислого газа, что, в свою очередь, обеспечивает формирование внутри керамического черепка замкнутой пористости, которая существенно улучшает теплоизоляционные свойства готового изделия.

В Великобритании, Италии и Испании мергель применяют как часть многокомпонентной сырьевой смеси для производства строительного кирпича и черепицы. Добавление мергеля позволяет снизить температуру обжига, так как карбонаты выступают в роли минерализаторов, ускоряющих спекание массы [9].

Современная наука предлагает альтернативу традиционному обжигу. Для образования прочного искусственного камня мергель, как активную минеральную составляющую, соединяют со щелочными активаторами (жидкое стекло, гидроксид натрия). Это направление, известное как геополимерная технология, позволяет получать вяжущие вещества без этапа высокотемпературного обжига, что позволяет достичь значительных экологических и экономических эффектов.

В Северной Африке и на Ближнем Востоке активно развивается производство стеновых кирпичей с использованием мергеля методом прессования и последующей стабилизации. В данном случае это обусловлено двумя определяющими факторами: высокой доступностью сырья в данном регионе и возможностью снижения себестоимости конечной продукции. При этом такие материалы идеально подходят для малоэтажного строительства в засушливых регионах.

Глобальные экологические тренды стимулируют развитие технологий переработки отходов горнодобывающей промышленности. Мергель рассматривается не только как первичное сырье, но и как материал для утилизации других отходов [10]. Примером такой технологии может выступать производство экологически чистых кирпичей с добавлением золы или шлаков, а также сушка и стабилизация влажных отходов строительных производств с использованием мергелевых вяжущих.

Обобщение международного опыта позволяет выделить ключевые сильные и слабые стороны использования мергеля. Его преимуществами являются ресурсная доступность, возможность применения для широкой номенклатуры строительных материалов, экономическая эффективность и улучшение эксплуатационных свойств конечного изделия (теплопроводность, долговечность и т.д.).

Однако помимо выделенных достоинств мергеля необходимо выделить и ряд его недостатков: вариабельность вещественного состава, которая требует мониторинга партий; высокоглинистые или содержащие органику мергели требуют предварительной подготовки (обогащения, вылёживания), что отражается на стоимости технологического процесса и конечной продукции; при производстве керамических материалов из-за разного содержания карбонатов в мергеле возможен риск пережога или недожога, что влияет на геометрию изделий.

Вместе с тем большой накопленный опыт зарубежных стран подтверждает высокую универсальность и перспективность мергеля как сырьевого ресурса для производства строительных материалов широкого спектра применения – от классического производства портландцемента до инновационных, широко востребованных «зеленых» технологий (геополимеры и стабилизированный грунт) [11].

Внедрение мергеля в производственные цепочки позволяет снижать себестоимость материалов за счет экономии на транспортировке и энергозатратах. Одновременно с этим уменьшается негативное воздействие от производств на окружающую среду, что соответствует целям устойчивого развития.

В условиях растущего спроса на энергоэффективные и экологичные материалы использование мергеля становится важнейшим направлением в мировой строительной индустрии. Для успешной адаптации этого опыта в других регионах необходимо развитие методов экспресс-контроля качества сырья и инвестиции в технологии, позволяющие нивелировать природную неоднородность мергелевых отложений. Будущее строительной индустрии лежит в плоскости разумного использования природных смешанных пород, и мергель занимает одно из центральных мест в этой стратегии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Природные климатические решения. [Электронный ресурс]. https://www.economy.gov.ru – офиц. сайт Министерства экономического развития РФ. Режим доступа: URL: https://www.economy.gov.ru (дата обращения: 19.02.2026).

2. Борисов, И.Н. Изучение возможности использования различных карбонатных пород при синтезе кальциево-алюмоферритового клинкера / И.Н. Борисов, А.Г. Новоселов, М.А. Никитина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 3. – С. 76-89

3. Исследование влияния тонкомолотого кремнеземистого мергеля на структуру и свойства композиционного гипсового вяжущего / Е.Л. Воробьев, Н.В. Чернышева, М.Ю. Дребезгова, Э.К. Сардарбекова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2026. – № 6. – С. 10-24. – DOI 10.34031/2071-7318-2026-11-6-10-2

4. Воронов, В.В. Композиционные вяжущие с применением опоковидного мергеля для производства пенобетона / В. В. Воронов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 1. – С. 21-27. – DOI 10.12737/article_5c506202c385c3.4386461

5. Рахимов, Р.З. Влияние добавок термоактивированного мергеля на свойства цементного камня / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, А.Р. Гайфуллин, В.П. Морозов // Известия КГАСУ. Строительные материалы и изделия. – 2017. – №2(40). – С. 228-238.

6. Awadh, S.M. Designing Raw Mix for Manufacturing Portland Cement using Euphrates Formation Marl Instead of Clays / Salih M. Awadh, Mohanad R.A. Al-Owaidi // Iraqi Geological Journal. – 2021. – Vol. 54. – No. 2D. – Pp. 87-97. – DOI: 10.46717/ igj.54.2D.7Ms-2021-10-26.

7. Availability of cement raw materials. [Электронный ресурс]. https://www.zkg.de – офиц. сайт рецензируемого журнала «ZKG International». Режим доступа: URL: https://www.zkg.de (дата обращения: 19.02.2026).

8. High limestone content in cement: An important step towards decarbonisation. [Электронный ресурс]. https://www.ecra-online.org – офиц. сайт European cement research academy. Режим доступа: URL: https://www.ecra-online.org (дата обращения: 19.02.2026).

9. Mesrar L. Study of Taza's Miocene marl applications in heavy clay industry / L. Mesrar, A. Benamar, R. Jabrane // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2020. – DOI https://doi.org/10.1007/ s10064-020-01732-y.

10. Mabroum, S. Rececling of marls from phosphate by-products to produce alkali-activated geopolymers / S. Mabroum, Y. Taha, M. Benzaazoua, R. Hakkou // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 51. – P. 6. – Pp. 1931-1936. – DOI https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.206.

11. Рахимов, Р.З. Геополимеры / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова, О.В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т.17. – №23. – С. 189-196.

УДК 004.657

Письменный А.Б., Чернобровенко А.Е.
Научный руководитель: Панченко М.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ЧТЕНИЯ В ПОДСИСТЕМЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ DJANGO

Объектно-реляционное отображение (ORM) применяется для работы объектно-ориентированных приложений с реляционными базами данных. При оценке его производительности необходимо учитывать выполнение запросов на сервере и организацию доступа к данным на стороне приложения [1]. Операция чтения включает получение строк из базы данных и формирование результата в приложении, поэтому её продолжительность может зависеть от выбранной формы представления данных.

В работе [2] представлено сравнение пяти ORM-библиотек для Python в 14 сценариях создания, чтения, обновления и удаления данных. При анализе операций чтения рассматриваются затраты на выполнение запросов и обработку полученных данных. Настоящее исследование развивает этот подход: сравнивается время получения одних и тех же записей и полей при трёх формах представления результата.

Цель исследования — оценить влияние формы представления результата на время выполнения операции чтения в Django ORM. Сравниваются экземпляры моделей, словари и кортежи. Для каждой формы рассматриваются выборки одной и 2 500 записей.

Задачи формулируются следующим образом: подготовить шесть сценариев чтения; обеспечить совпадение возвращаемых записей и полей для трёх форм представления; провести повторные измерения и рассчитать итоговые показатели; сопоставить результаты и определить величину различий отдельно для каждого объёма выборки.

Для эксперимента используется предварительно заполненная база данных, схема которой приведена на рисунке (Рис. 1). Таблица *Bookings* хранит сведения о бронированиях, а таблица *Tickets* — сведения о билетах и связана с *Bookings* полем *book_ref*. Измеряемые запросы выполняются к таблице *Bookings*, содержащей **1 292 893** записи.

При чтении одной записи выбирается первая строка в порядке возрастания первичного ключа *book_ref*. При выборке 2 500 строк в том же порядке выбираются первые 2 500 строк. Для каждого объёма во всех трёх вариантах возвращаются одинаковые строки и полный набор полей таблицы *Bookings*. Соединение таблиц и загрузка связанных объектов не выполняются.

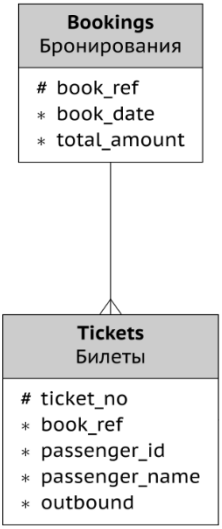


Рис. 1 Схема исходной базы данных

Результаты измерений зависят от аппаратной и программной среды [3], поэтому все сценарии выполняются на одном стенде при неизменных версиях программного обеспечения. Перед каждым полным циклом измерений для прогрева 20 раз выполняется набор операций создания, чтения, обновления и удаления данных.

Методика предусматривает 10 полных циклов измерений, каждый из которых включает последовательное выполнение всех шести сценариев. Внутри цикла каждый сценарий повторяется 75 раз, а результатом сценария считается медиана времени его выполнения. Итоговые показатели рассчитываются по результатам десяти циклов.

При каждом повторении запрос формируется и выполняется заново. Встроенным монотонным таймером языка программирования Python измеряется интервал от начала построения запроса до полного формирования результата. При чтении одной записи возвращается экземпляр модели, словарь или кортеж. При выборке 2 500 записей —

массив соответствующих элементов. Измеряемое время включает построение и выполнение запроса, передачу данных и формирование результата в выбранной форме. Установление соединения с базой данных, проверка результата и расчёт итоговых показателей выполняются вне измеряемого интервала.

Для представления результатов используются две метрики. **avg** — среднее арифметическое результатов десяти циклов измерений. **p90** — 90-й перцентиль распределения результатов циклов, рассчитанный с линейной интерполяцией.

Эксперимент выполняется на виртуальном сервере (VPS) под управлением Ubuntu 26.04. Серверу выделены два виртуальных процессорных ядра (2 vCPU 3,3 ГГц) на базе AMD EPYC 7542 и 2 ГБ оперативной памяти DDR4-3200. Используются Python 3.14.6, Django 5.2.8, PostgreSQL 18 и psycopg 3.3.2.

При чтении одной записи получены следующие результаты (Табл. 1).

Таблица 1 — Время чтения одной записи

Форма представления	**avg, мс**	**p90, мс**
Экземпляр модели	0,526	0,560
Словарь	0,568	0,642
Кортеж	0,573	0,645

При чтении одной записи наименьшее среднее время получено для экземпляра модели.

Результаты для выборки 2 500 записей приведены ниже (Табл. 2).

Таблица 2 — Время чтения 2 500 записей

Форма представления	**avg, мс**	**p90, мс**
Экземпляры моделей	32,167	33,168
Словари	22,008	22,802
Кортежи	20,723	21,769

Для выборки 2 500 записей наименьшее среднее время получено при использовании кортежей.

Отладочная проверка показала, что для одинакового объёма выборки все три формы представления используют одинаковые SQL-

запросы. Большее время получения экземпляров моделей при выборке согласуется с накладными расходами ORM на формирование результата в виде объектов модели, которых позволяет избежать использование словарей и кортежей [4].

Полученные результаты показывают, что влияние формы представления данных на время выполнения операции чтения в Django ORM зависит от объёма выборки. В рассмотренном сценарии чтения 2 500 записей использование словарей и кортежей позволило сократить среднее время получения результата по сравнению с экземплярами моделей. При чтении одной записи такого преимущества не выявлено. Поэтому при выборе формы представления следует учитывать объём выборки и потребность в функциональности модели. Выводы относятся к исследованным сценариям и условиям эксперимента. В дальнейшем целесообразно исследовать промежуточные объёмы выборки и влияние состава возвращаемых полей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рубанов В. В. Способы отображения объектов в реляционных базах данных // Труды Института системного программирования РАН. 2002. Т. 3. С. 139–164.

2. Чернобровенко А. Е., Лылов Д. А., Панченко М. В. Сравнительный анализ производительности библиотек объектно-реляционного отображения для Python // Труды ИСП РАН. 2026. Т. 38. Вып. 4, ч. 2. С. 177–192. DOI: 10.15514/ISPRAS-2026-38(4)-25.

3. Reichelt D. G., Jung R., van Hoorn A. Overhead Measurement Noise in Different Runtime Environments // Softwaretechnik-Trends. 2024. Vol. 44, no. 4. P. 12–14.

4. QuerySet API reference // Django documentation. Version 5.2. URL: https://docs.djangoproject.com (дата обращения: 03.10.2026).

УДК 666.97.031

Пономарев Д.В., Несмеянов Н.П., Науменко В.В., Варенбуд В.Ю.
Научный руководитель: Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. г. Белгород, Россия

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Современное строительство является крупнейшим потребителем сырьевых материалов, бетона, изделий и конструкций, металла, оборудования, электроэнергии и т.д., затраты на которые составляют более 60 % стоимости готовой продукции [2]. Всемерное снижение материалоемкости и энергоемкости готовой продукции является актуальнейшей задачей капитального строительства. Перспективными направлениями её решения являются повсеместное внедрение ресурсосберегающей технологии, эффективных материалов, изделий и конструкций, новых видов оборудования и комплексов, систем автоматического контроля и управления и др.

Применяемые в гражданском и промышленном строительстве изделия типового унифицированного заводского изготовления составляют около 80 % общего объема производства сборных железобетонных конструкций. На их производство расходуется большое количество сырьевых материалов, бетонов и бетонных смесей [1, 2].

Растущие потребности современного рынка бетонов и бетонных смесей диктуют их производителям необходимость постоянно совершенствовать их технические характеристики, расширять ассортимент, снижать себестоимость производства и т.д. и расширять области их применения в строительстве. Поэтому ставится первоочередная задача рассмотреть перспективу применения различных видов бетона и бетонных смесей в современном строительстве и стройиндустрии и наметить пути их дальнейшего развития.

Подбор состава бетона осуществляется с учетом указаний ГОСТа 27006–86. При подборе состава бетона необходимо иметь следующие исходные данные:

- класс (марка) бетона, возраст его достижения и условия твердения, прочность (отпускная, распалубочная, передаточная (при изготовлении железобетонных напряженных изделий));

- удобоукладываемость (жесткость, подвижность) бетонной смеси, принимаемой для данного изделия и соответствующей технологии;
- характеристика исходных материалов (марка или активность цемента, вид, плотность и зерновой состав крупного и мелкого заполнителя и др.);
- дополнительные требования или указания к качеству бетона (прочность на растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость, долговечность и т.д.) [3, 4].

На бетоносмесительных заводах и установках качество приготовления бетонной смеси контролируется различными способами. Одним из способов является обеспечение заданного времени смешивания компонентов с применением различных реле времени. Однако изменчивость свойств исходных компонентов приводит к необходимости частого изменения времени смешивания, что снижает эффективность использования технологического оборудования [5].

Косвенно однородность бетонной смеси контролируют также по нагрузке электродвигателя привода лопастного аппарата. Окончание перемешивания при постоянном напряжении сети определяют по стабильности тока, потребляемого электродвигателем смесителя.

Как отмечалось выше, качество бетонной смеси оценивается удобоукладываемостью (жесткостью, подвижностью). Контролируют подвижность смеси датчиком потребляемой электродвигателем мощности, выход которого присоединен к входу блока управления (рис. 3.5). С помощью вентиля регулируют количество подаваемой воды в смеситель с таким расчетом, чтобы мощность соответствовала заданной.

Другой способ основан на зависимости электропроводности смеси от количества содержащейся в ней воды, а, следовательно, от подвижности. Для его реализации датчик электропроводности подсоединяют к блоку управления, который с помощью вентиля регулирует подачу воды в бетоносмеситель.

И последний способ связан с введением в устройство коррекции системы автоматики информации о влажности заполнителей от специальных влагомеров, что позволяет непрерывно в каждом цикле дозирования корректировать подвижность бетонной смеси в зависимости от влажности сырьевых компонентов.

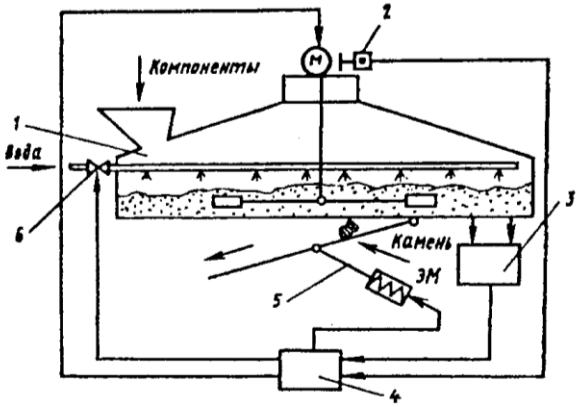


Рис. 1. Структурная схема регулирования подвижности бетонной смеси: 1 – бетоносмеситель принудительного перемешивания; 2 – датчик контроля нагрузки тока двигателя; 3 – датчик электропроводности смеси; 4 – блок управления; 5 – затвор выгрузки смеси; 6 – регулирующий вентиль.

Для контроля влажности заполнителей имеются соответствующие устройства, которые непрерывно преобразуют технологическую информацию о влажности заполнителей в управляющий сигнал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1976, - с. 145.

2. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2018.

3. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Оноприенко Ю.С., Котышев А.В. Состояние вопроса приготовления строительных смесей в настоящее время // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXI. – 2022. – С. 286–288.

4. Гусев Б. В. Производство бетонов, бетонных и железобетонных изделий: учебное пособие / Б. В. Гусев, А. А. Кальгин, М. Ю. Федотов. — Москва: АСВ, 2025. — 374 с.

5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Белозерских И.В., Индиченко А.В. Методы и критерии оценки бетонных смесей и эффективности процесса смешивания в лопастных смесителях //

Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. Межвузовский сборник статей. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 115-11

УДК 004.5

Присухин Б.Р.
Научный руководитель: Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ДИЗАЙН-ТОКЕНЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Передача дизайнерских решений в разработку остаётся одним из самых ресурсоёмких этапов создания цифровых продуктов. Дизайн-токены рассматриваются как способ стандартизировать этот процесс, однако единого подхода к управлению их жизненным циклом до сих пор нет. Рынок инструментов фрагментирован: одни решения закрывают отдельные задачи, другие претендуют на комплексное управление, но ни одно не стало общепринятым стандартом. Это определяет необходимость сравнительного анализа существующих решений и выявления их ограничений.

Стремление к стандартизации и автоматизации процессов разработки дизайн-систем привело к появлению множества узкоспециализированных инструментов, каждый из которых решает отдельную локальную задачу. В сложившийся экосистеме можно выделить три основных класса: средства для создания и редактирования визуального дизайна, инструменты трансформации дизайн-токенов и платформы для документирования и поддержки дизайн-систем [1]. Однако эти классы инструментов изначально не были спроектированы для совместной работы в рамках единого сквозного процесса. Их совместное использование не образует централизованной системы для управления одним из ключевых блоков дизайн-системы — дизайн-токенами [2].

Согласно спецификации W3C Design Tokens Community Group, дизайн-токены — это «наименьшие неделимые единицы дизайн-системы, такие как цвета, отступы, масштабы типографики» [3]. Дизайн-токены были созданы командой Salesforce для выражения

дизайнерских решений платформонезависимым способом, что позволяет использовать их в различных инструментах, технологиях и платформах. В минимальном виде дизайн-токен - это пара «имя – значение». Например, токен color-text-primary может иметь значение #000000, а токен font-size-heading-level-1 - значение 44px.

В современных компаниях проектирование визуального оформления цифровых продуктов ведётся с использованием различных профессиональных средств. К ним относятся растровые редакторы, например Photoshop и Affinity Photo; инструменты векторной графики, такие как Illustrator и Inkscape; а также системы для проектирования интерфейсов и создания прототипов, среди которых Adobe XD, Sketch и Figma. Последняя стала отраслевым стандартом благодаря поддержке коллективной работы и встроенному механизму переменных, позволяющему создавать примитивные и семантические токены непосредственно в макетах.

Однако само по себе наличие таких инструментов не решает проблем, возникающих при передаче дизайнерских решений в разработку. Этот процесс часто сопровождается трудностями, поскольку у дизайнеров и разработчиков разные подходы к работе. Как отмечает главный UX-дизайнер Amazon Адам Уорнер: «Между двумя сторонами возникает недопонимание: иногда гибкость, которую привносят дизайнеры, вступает в противоречие с точностью и эффективностью, которые нужны разработчикам. Но в конечном счете мы все хотим выпустить хороший продукт» [1].

Разобщённость команд дизайнеров и разработчиков проявляется в нескольких ключевых областях [5]:

- несогласованная терминология - команды говорят на разных профессиональных языках, что приводит к путанице;
- проблемы с контролем версий - изменения в дизайне вносятся без надлежащей документации;
- технические ограничения - плохое понимание платформенных ограничений;
- проблемы с реализацией - конечные продукты не соответствуют первоначальному замыслу;
- нерациональное управление ресурсами - время и силы тратятся впустую.

Эти проблемы серьёзно влияют на результаты проектов. Как показало исследование Project Management Institute, плохая коммуникация является основной причиной провала проектов: она была названа сопутствующим фактором в 56% неудачных проектов [6].

Современный подход к управлению дизайн-токенами требует формирования целостной стратегии. Зрелые дизайн-системы, например, United States Web Design System, включают в себя несколько обязательных компонентов: документацию, компоненты, утилиты и шаблоны страниц [8]. Применительно к дизайн-токенам такая стратегия должна включать не только их хранение, но и следующие элементы управления: отслеживание статуса токена, документацию по ценности (назначению), управление пользовательскими свойствами, протоколы синхронизации, а также рекомендации по внедрению. Ключевым элементом является внедрение системы контроля версий, которая предполагает отдельное хранилище, семантическое версионирование и ведение журнала изменений [5]. Аналогичные требования фигурируют и в других современных методологиях, например в «Семи принципах разработки дизайна», которые помогают выстроить более структурированный процесс совместной работы дизайнеров и разработчиков в организации [1].

Крупные компании уже осознали необходимость внедрения системных подходов. Как показано в исследованиях, лидеры индустрии - Airbnb, Duolingo, Slack - трансформируют свои дизайн-системы, переходя к компонентной архитектуре, дизайн-токенам и стандартизации визуального языка. Однако такие системы, как правило, остаются внутренними решениями компаний и не предназначены для широкого использования. На этом фоне начали появляться коммерческие платформы, предлагающие универсальные инструменты для управления дизайн-токенами и жизненным циклом дизайн-систем. Примерами таких платформ являются Supernova и Specify. Они предлагают централизованное управление дизайн-токенами и другими артефактами дизайн-системы, автоматическую синхронизацию между инструментами проектирования и разработки, а также преобразование токенов в код для разных платформ. Тем самым обе платформы обеспечивают непрерывную передачу данных между дизайном и разработкой, снижая долю ручных операций. Помимо универсальных платформ, в экосистеме присутствуют инструменты, закрывающие отдельные этапы работы с токенами. Tokens Studio for Figma расширяет возможности Figma по работе с токенами и синхронизирует их с внешними репозиториями, однако ориентирован прежде всего на задачи отдельных дизайнеров и небольших команд. Style Dictionary выполняет трансформацию токенов в код для разных платформ, но не управляет их хранением и версионированием. Supernova и Specify претендуют на централизованное управление жизненным циклом, но

различаются по охвату: Supernova ориентирована на комплексное управление дизайн-системой, Specify — на синхронизацию и преобразование токенов. В результате рынок остаётся фрагментированным: одни инструменты решают локальные задачи, другие пытаются охватить процесс целиком, но ни один из них не стал общепринятым стандартом.

Таблица – Результаты исследования

Критерий сравнения	Tokens Studio	Style Dictionary	Supernova	Specify
Тип решения	Плагин для Figma	CLI-утилита	SaaS-платформа	SaaS-платформа
Интеграция с Figma	Плагин	Отсутствует	Плагин	Виджет
Хранение данных	Внешние репозитории	Отсутствует	Облачное хранилище платформы	Облачное хранилище платформы (SDTF)
Версионирование	Хранение JSON файлов в Git-репозитории	Не обеспечивает	Внутренние снимки дизайн-системы	Хранение JSON файлов в Git-репозитории
История изменений	Файлы во внешних репозиториях	Отсутствует	На уровне версий дизайн-системы	Файлы во внешних репозиториях
Экспорт форматов	Веб-ориентированный	Мультиплатформенный	Мультиплатформенный	Мультиплатформенный

Проведённый анализ показывает (Таблица), что существующие решения закрывают отдельные этапы жизненного цикла - работу в среде дизайна, трансформацию в код, синхронизацию, документацию, - но ни одно из них не обеспечивает полного набора функций. Хранение и версионирование либо делегируются внешним системам, либо реализуются в закрытых форматах, что ограничивает контроль над жизненным циклом токенов. На текущий момент ни один из рассмотренных инструментов не обеспечивает полный жизненный цикл дизайн-токенов. Коммерческие платформы снижают долю ручных операций и автоматизируют отдельные процессы, но не устраняют проблему комплексно. Ключевые ограничения связаны с отсутствием

атомарного версионирования, неполной поддержкой DTCG, зависимостью от вендоров и необходимостью организационных процессов управления.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования требований к специализированным системам управления жизненным циклом дизайн-токенов, а также для оценки применимости существующих платформ в конкретных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zeplin. What goes wrong with designer-developer collaboration? new insights and solutions [Электронный ресурс] // Zeplin Gazette. 2024. 2 Apr. URL: https://blog.zeplin.io (дата обращения: 17.09.2026).

2. Герасимов А.И. Анализ и проектирование модели данных современных дизайн-систем / А.И. Герасимов ; науч. рук. Д.А. Шуклин // XLVIII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО : Альманах научных работ молодых ученых : в 3 т. Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2019. Т. 1. С. 49–54. URL: https://elibrary.ru (дата обращения: 17.09.2026).

3. Design Tokens Technical Reports 2025.10 [Электронный ресурс] / Design Tokens Community Group. 2025. URL: https://www.designtokens.org (дата обращения: 17.09.2026).

4. Design Tokens. Color Module 2025.10 [Электронный ресурс] / Design Tokens Community Group. 2025. URL: https://www.designtokens.org (дата обращения: 17.09.2026).

5. Raghavan R. The Evolution of Design Tokens: Bridging the Gap Between Developers and Designers [Электронный ресурс] // Acodez IT Solutions Blog. 2025. 10 Jan. URL: https://acodez.in (дата обращения: 17.09.2026).

6. Monkhouse P. My project is failing, it is not my fault [Электронный ресурс] // Paper presented at PMI® Global Congress 2015—EMEA, London, England. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2015. URL: https://www.pmi.org (дата обращения: 17.09.2026).

7. Design Tokens. Format Module 2025.10 [Электронный ресурс] / Design Tokens Community Group. 2025. URL: https://www.designtokens.org (дата обращения: 17.09.2026).

8. Стативко, Р. У. Интеллектуальные информационные системы : учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23400 и специальности 230201 - Информационные системы и технологии / Р. У. Стативко ; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос.

технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – 151 с.

УДК 62-83

Приходько А.В.
Научный руководитель: Белоусов А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕРВОПРИВОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ

В современных автоматизированных производственных линиях широкое распространение получили сервоприводы, которые в наибольшей степени обеспечивают соответствие жестким требованиям по точности перемещения рабочих органов технологических установок и качеству управления движением. Сервоприводы обладают высокими значениями своих динамических показателей, характеризуемых значениями частоты пропускания их контуров регулирования [1].

Высокая точность позиционирования позволяет широко использовать сервоприводы в станках с ЧПУ, оборудовании для установки SMD-элементов на плату и роботах-манипуляторах. Управление моментом подходит для работы сервоприводов в намоточных станциях, клепальных машинах и дозаторах. Также существуют системы, в которых критически важна синхронизация движения нескольких осей серводвигателей в реальном времени. К таким системам относятся полиграфическое оборудование, упаковочные агрегаты, сложные сборочные линии [2].

Для данных механизмов применяют сложные системы управления, что требует тонкой настройки оборудования и сложных программных решений, а также усложняет моделирование и внедрение таких систем в процесс обучения. Целью работы является изучение и сравнение методов синхронизации сервоприводов для упрощения моделирования и создания лабораторных макетов реального технологического оборудования.

Сервосистема состоит из серводвигателя, сервоусилителя, датчика перемещения и контроллера движения. В качестве электродвигателей для сервоприводов могут использоваться асинхронные и синхронные серводвигатели, коллекторные двигатели постоянного тока, линейные

серводвигатели, мотор-редукторы и шаговые двигатели. Сервоусилитель выступает связующим звеном между контроллером движения и двигателя. Он обеспечивает движение двигателя в соответствии с заданием контроллера, используя данные обратной связи датчика перемещения, в качестве которого могут выступать инкрементальный и абсолютный энкодеры, резольвер или сельсин [3].

В упаковочных линиях синхронизация сервоприводов применяется для задания степени точности позиционирования продукта относительно движущихся исполнительных механизмов. В линии упаковки конфет приемный транспортер состоит из нескольких сегментов, каждый из которых приводится в движение отдельным серводвигателем с индивидуальным сервоусилителем, синхронизированным с цикличностью отливки конфет. Выравнивающий укладчик распределяет конфеты с одинаковыми интервалами. Подающий транспортёр регулирует скорость серводвигателей для точного размещения конфет между лопатками конвейера на основе данных датчиков о расстоянии между движущимися конфетами и ячейками. Для взаимной синхронизации упаковочной плёнки с цветными метками и ленты с разделительными лопатками используется датчик метки и индуктивный датчик положения лопаток.

Достижение требуемой точности и синхронизации обеспечивается аппаратными средствами. Наиболее распространённым способом является использование детерминированных промышленных сетей. Протокол EtherCAT использует механизм распределённых часов, при котором мастер отправляет сигнал SYNC0 всем подключённым приводам, и при получении этого сигнала ведомые устройства корректируют внутренние часы и запускают контур управления с настраиваемой задержкой, что обеспечивает синхронизацию с точностью до десятых долей микросекунды. В CANopen синхронизация достигается рассылкой мастером SYNC-сообщения приводам, сигнализирующего о начале нового цикла обмена данными. При получении этого сообщения каждый привод фиксирует текущее значение энкодера, что обеспечивает синхронный сбор теоретического и фактического значения позиции в рамках одного такта опорного сигнала. Для исключения необходимости процедуры поиска нулевой отметки после сбоя питания, также для осуществления быстрого восстановления синхронизма широкое применение нашли абсолютные энкодеры, которые в реальном времени определяют скорость и положение вала двигателя [4].

Программная синхронизация реализуется через алгоритмы, выполняемые контроллером движения. В упаковочных линиях ПЛК получает данные от датчиков о положении конфет и лопаток, вычисляет ошибку рассогласования и формирует корректирующие команды для сервоприводов подающего транспортёра. Регулирующий конвейер со скоростью, отличной от скорости лопаточного конвейера, разделяет поток конфет на отрезки с одной конфетой на каждом. Это позволяет сохранить расстояние между конфетами равным расстоянию между лопатками. Контроллер синхронизирует работу приводов, благодаря чему все сервоприводы в сети выполняют одинаковые операции в одни и те же моменты времени.

На рис. 1 показан пример системы управления с синхронизированным движением сервоприводов. Сервоусилители соединяются в последовательно и подключаются к контроллеру при помощи одного из интерфейсов связи. Сервоусилители приводят в движение сервомоторы и получают обратную связь о положении двигатель при помощи энкодеров. Двигатели взаимодействуют с рабочим органом оборудования, а датчики направляют информацию контроллеру для корректирования ошибки.

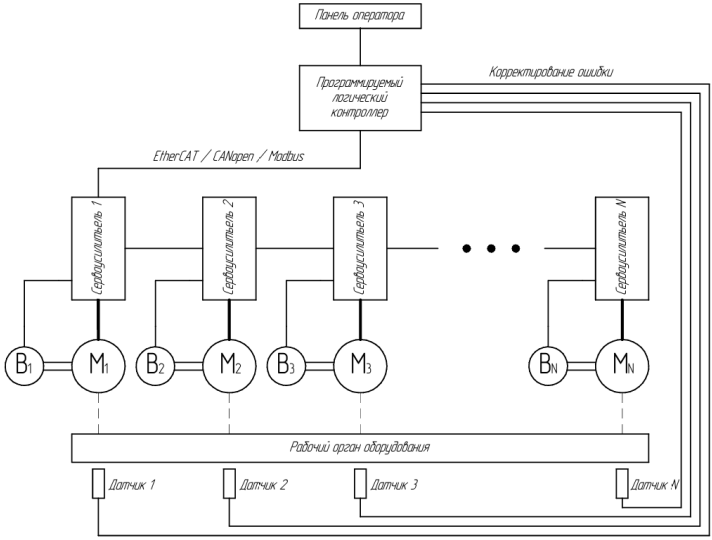


Рис. 1 Структурная схема системы управления с синхронизированным движением сервоприводов

Сравнение методов синхронизации показывает различия в быстродействии, точности и сложности реализации. Аппаратные методы на базе EtherCAT обеспечивают синхронизацию с точностью порядка 0,1 мкс и расхождением задержки между отправкой пакетов менее 40 нс с максимальной скоростью передачи данных 100 Мбит/с. CANopen обеспечивает синхронизацию с расхождением задержки около 130 мкс с максимальной скоростью передачи данных 1 Мбит/с, что ограничивает его применение в высокоточных системах. Выбор конкретного метода зависит от требуемой точности, быстродействия и сложности системы.[5]

Синхронное движение сервоприводов является одним из основных требований для современных автоматизированных производственных линий. Точность позиционирования и согласованность движения осей определяют качество продукции в работе упаковочного оборудования, полиграфии и сборочных линий.[6] Высокая точность синхронизации обеспечивается за счет таких аппаратных средств, как абсолютные энкодеры и специализированные протоколы связи. Промышленные контроллеры движения позволяют адаптировать систему к различным технологическим процессам.

Для создания сложных систем автоматизации наиболее перспективным является использование протокола EtherCAT в сочетании с абсолютными энкодерами. Такие решения обеспечивают наивысшую точность и быстродействие, однако высокая стоимость оборудования не позволяет массово внедрять эти средства для моделирования и создания лабораторных макетов. Лабораторное оборудование не выполняет реальные задачи автоматизации технологических процессов, поэтому для его моделирования и создания допускается использование более доступного оборудования с меньшими показателями точности и быстродействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ладыгин, А. Н. Разработка учебного практикума начального уровня по сервоприводу / А. Н. Ладыгин, А. Л. Ромашков // Труды IX международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2016, Пермь, 03–07 октября 2016 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2016. – С. 565-569. – EDN XXKJBD.

2. Никитин, И. В. Серводвигатели в системах электропривода / И. В. Никитин // Интеллектуальные энергосистемы : Материалы V Международного молодежного форума, Томск, 09–13 октября 2017 года. Том 2. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 129-133. – EDN YGKBBJ.

3. Клянченко, И. А. Сервопривод / И. А. Клянченко, М. А. Мышковец ; науч. рук. Т. Е. Жуковская // Актуальные проблемы энергетики: материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 631-634.

4. Paprocki M., Erwiński K. Synchronization of Electrical Drives via EtherCAT Fieldbus Communication Modules // Energies. – 2022. – V. 15. No. 2. – P. 604. – DOI: 10.3390/en15020604.

5. Zhou R., Gao S., Dong Y., Dong H., Zhang Y., Wu X. EtherCAT-based High-precision Multi-axis Interpolation Synchronous Control Method // 2025 40th Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC). – IEEE, 2025. – P. 2888–2895.

6. Применение программного комплекса NI LabView для исследования систем управления электроприводом / А. В. Белоусов, Ю. А. Кошлич, О. В. Третьяков, В. К. Стан // Компьютерные измерительные технологии : Материалы I Международного симпозиума, Москва, 03 апреля 2015 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ДМК пресс. Электронные книги", 2015. – С. 233-237. – EDN TXIKDB.

УДК 004.056.55

Путилин Н.И.
Научный руководитель: Стативко Р.У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ УГЛОВЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОЙ АЛГЕБРЫ В ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Одной из ключевых задач при проектировании мобильных интеллектуальных систем мониторинга физической активности является преобразование сырых данных, получаемых от модулей машинного зрения, в интерпретируемые биомеханические метрики.

Интеграция современных нейросетевых фреймворков, таких как MediaPipe Pose, позволяет в режиме реального времени экстрагировать пространственную конфигурацию человеческого тела. Результатом инференса (вывода) нейросети выступает массив тензоров, содержащий нормализованные трехмерные координаты (X, Y, Z) набора ключевых точек (суставов) скелетной топологии.

Однако прямое использование полученных абсолютных координат для оценки правильности выполнения физического упражнения алгоритмически нецелесообразно. Координаты зависят от положения смартфона в пространстве, расстояния от объектива камеры до пользователя и антропометрических особенностей конкретного человека (рост, длина конечностей). Для обеспечения инвариантности вычислений к перечисленным факторам требуется переход от абсолютных позиционных координат к относительным угловым величинам.

Проектируемый программный комплекс опирается на методы векторной алгебры для вычисления углов между сегментами опорно-двигательного аппарата в трехмерном пространстве. Выбор данного математического аппарата обусловлен его высокой вычислительной эффективностью, что критически важно при реализации концепции граничных вычислений (Edge Computing), когда вся нагрузка ложится на центральный процессор мобильного устройства.

В качестве базового примера алгоритмической обработки рассмотрим задачу детекции фазы и глубины приседания, что требует непрерывного вычисления угла сгибания коленного сустава. Для формирования математической модели выделяются три ключевые анатомические точки: тазобедренный сустав (точка A), коленный сустав (вершина угла, точка B) и голеностопный сустав (точка C).

Каждая точка характеризуется вектором положения в декартовой системе координат кадра. На основе данных точек формируются два направленных вектора: вектор бедра и вектор голени.

Вектор бедра $\overrightarrow{BA}$ вектор голени $\overrightarrow{BC}$ вычисляются путем покомпонентного вычитания пространственных координат их начальной и конечной точек. Искомый биомеханический угол θ (в радианах) между сформированными сегментами определяется на основе фундаментальной теоремы векторной алгебры через отношение скалярного произведения векторов к произведению их евклидовых норм (длин).

С учетом трехмерного пространства признаков, математическая модель вычисления угла принимает следующий вид (1).

$$\theta = arccos\left(\frac{x_{BA}x_{BC}+y_{BA}y_{BC}+z_{BA}z_{BC}}{\sqrt{x^2{}_{BA}+y^2{}_{BA}+z^2{}_{BA}}\cdot\sqrt{x^2{}_{BC}+y^2{}_{BC}+z^2{}_{BC}}}\right) \quad (1)$$

где x_{BA}, y_{BA}, z_{BA} - проекции вектора $\overrightarrow{BA}$ на соответствующие оси декартовой системы координат; x_{BC}, y_{BC}, z_{BC} - проекции вектора $\overrightarrow{BC}$; $arccos$ - обратная тригонометрическая функция, возвращающая радиальную меру угла.

Для последующей алгоритмической обработки и вывода информации на экран пользовательского интерфейса, полученное значение переводится в градусную меру путем умножения на стандартизированный коэффициент 180/π. Геометрическая интерпретация описанной математической модели с выделенными направляющими векторами и точками сочленения представлена на схеме (Рис. 1).

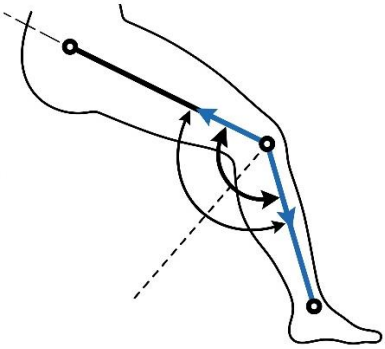


Рис. 1 Расчетная схема определения угловых параметров коленного сустава на основе выделенных ключевых точек топологии

Полученный непрерывный поток угловых значений θ поступает на вход программного модуля логического анализатора. Однако из-за специфики работы сверточных нейронных сетей, входящий массив числовых значений неизбежно содержит высокочастотный шум (джиттер координат), возникающий при изменениях освещенности кадра или перекрытии частей тела. Прямая передача зашумленных данных в логический контроллер приводит к ложным срабатываниям триггеров ошибок.

Для минимизации влияния стохастических флуктуаций (джиттера) на точность детекции паттернов движения, в конвейер обработки данных внедрен программный блок цифровой фильтрации. В качестве

оптимального решения, балансирующего между качеством сглаживания и скоростью отклика, был выбран рекурсивный фильтр экспоненциального скользящего среднего (Exponential Moving Average, EMA). В отличие от простого усреднения, метод EMA присваивает наибольший весовой коэффициент последним полученным кадрам, что исключает эффект алгоритмической задержки (лага) при быстрых динамических движениях пользователя.

Сглаженный временной ряд угловых величин поступает в логический контроллер, спроектированный на базе абстрактной модели конечного автомата (Finite State Machine). Автомат оперирует набором дискретных состояний (например, «Ожидание», «Эксцентрическая фаза», «Изометрическая фиксация», «Концентрическая фаза»). Смена состояний триггерится исключительно при пересечении углом θ заранее заданных эмпирических порогов. В частности, для фиксации корректного выполнения глубокого приседания алгоритм верифицирует падение значения θ ниже порогового предела в 90°. Параллельно аналогичным образом вычисляется угол наклона корпуса (вектор позвоночного столба относительно вертикали) для выявления опасного скругления спины.

Предложенный математический аппарат на основе векторной алгебры отличается низкой асимптотической вычислительной сложностью, составляющей O(1) для каждого обрабатываемого кадра видеопотока. Вычисление скалярных произведений и базовых триггонометрических функций не требует применения ресурсоемких матричных трансформаций.

Таким образом, разработанный алгоритмический комплекс позволяет эффективно преобразовывать сырые тензорные данные нейросети в высокоточные биомеханические метрики. Адаптация алгоритма под парадигму граничных вычислений (Edge Computing) обеспечивает возможность его интеграции непосредственно в мобильные приложения, функционирующие в условиях ограниченных аппаратных ресурсов смартфона и без необходимости подключения к облачным серверам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход : учебное пособие / Д. А. Форсайт, Ж. Понс ; пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2004. – 928 с. – ISBN 5-8459-0542-7.

2. Горячкин, Б. С. Компьютерное зрение / Б. С. Горячкин, М. А.

Китов // E-scio. – 2020. – № 9 (48). – С. 317-345.

3. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебник для вузов / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с. – ISBN 978-5-9775-0606-9.

4. Стативко, Р. У. Интеллектуальные информационные системы : учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23400 и специальности 230201 - Информационные системы и технологии / Р. У. Стативко ; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – 151 с.

5. Лемешко, О. В. Фильтр Калмана. Теоретические основы и практическое применение / О. В. Лемешко // Вестник магистратуры. – 2014. – Т. 1. – № 6 (33). – С. 5.

УДК 004.942

Разиньков Н.В., Медведев С.В.
Научный руководитель: Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В РАМКАХ ГИБРИДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Можно отметить, что в настоящее время концепция цифрового двойника (ЦД) стремительно развивается и привлекает всё больше внимания в самых различных отраслях промышленности. Происходит это по причине того, что данная концепция считается инновационной технологией, позволяющей осуществлять мониторинг в режиме реального времени, моделирование, оптимизацию, точное прогнозирование и двустороннюю обратную связь между физическими и цифровыми объектами. Следует отметить, что на данный момент одной из перспективных концепций выступает ЦД гибридного многономенклатурного производства. Основывается это современном стремлении к созданию в высшей степени «бережливого производства».

В настоящий момент существует несколько систем для имитационного моделирования как физических объектов, так и технологических процессов: Simulation Software, Arena Rockwell Soft, eM-Plant, Deneb/Quest. Отдельно можно выделить отечественную программу AnyLogic. В рамках данной программы можно производить

имитационное моделирование посредством представления оборудования или процесса в качестве набора блоков, что позволяет, как создавать собственные варианты вариации блоков, так и использовать стандартные библиотеки, охватывающие большое количество сфер, начиная от сферы обслуживания и заканчивая производством или экологическими системами.

На данный момент существуют научные работы, описывающие ЦД различных участков гибридного производства или же подготовительный этап для традиционного производства. Рассматривая среднестатистическое производство металлических или пластиковых изделий, основным видом оснастки будет выступать пресс-форма. Можно отметить, что процесс производства пресс-формы является крайне сложным, что даёт возможность к его оптимизации. В работе [5] приводится процесс оптимизации имитационной модели производства пресс-форм в среде AnyLogic (Рис. 1).



Рис. 1 Часть структурной схемы модели производства пресс-форм

К примеру, в работе [4] приведен пример проведенного имитационного моделирования машиностроительного цеха (Рис. 2).

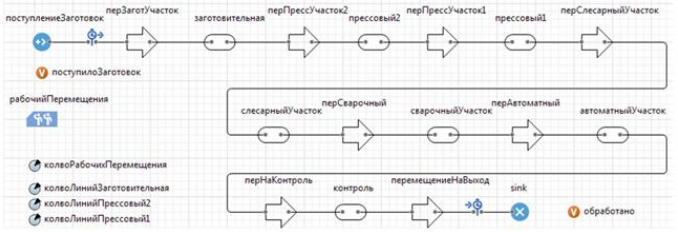


Рис. 2 Схема составленной имитационной модели процесса обработки детали-представителя в среде имитационного моделирования AnyLogic [4]

Также, в работе [2] приведен пример ЦД фермы 3D принтеров (Рис. 3). Данный вариант возможно использовать в качестве участка в гибридном производстве для производства заготовок для последующей субтрактивной обработки.

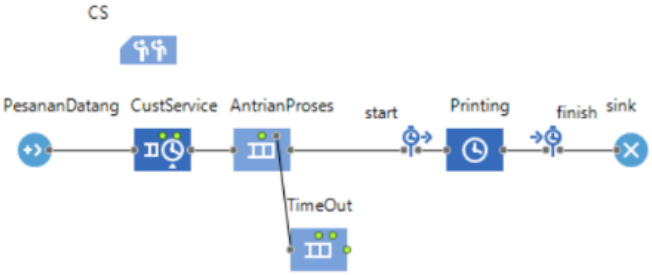


Рис. 3 Блок модели операции 3D печати в AnyLogic

Таким образом, можно отметить, что создание ЦД гибридных производств или их отдельных участков может применяться для их оптимизации. Данный подход может помочь не только обнаружить узкие места в существующем технологическом процессе с точки зрения логистики, но и решать производственные задачи самого различного характера. Производя исследования с ЦД производства становится возможно оценить загрузку оборудования, среднее время нахождения деталей в производстве, среднюю длину очереди, а также финансовые результаты производственного процесса. Помимо этого, рассматривая дальнейшее планирование, появляется возможность существенно сократить затраты при реконструкции и преобразованиях, а также точно определить производственную мощность нового производства в разных условиях: при изменении серийности, установке нового оборудования, варьировании размера партий и количества оборудования.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. С. И. Анциферов, М. Г. Матусов, Д. В. Карпачев [и др.] / Концепция многономенклатурного гибридного аддитивного производства // СТИН. – 2024. – № 9. – С. 19-23.

2. Widiatmoko, Julian & Purwaningsing, Ratna & Susanty, Aries. (2024). EVALUASI BASIS TARIF DASAR JASA 3D PRINTING DENGAN SIMULASI ANYLOGIC. J TI UNDIP JURNAL TEKNIK INDUSTRI. 19. 26-34. 10.14710/jati.19.1.26-34.

3. Latsou, Christina & Ariansyah, Dedy & Salome, Louis & Erkoyuncu, John & Sibson, James & Dunville, John. (2024). A unified framework for digital twin development in manufacturing. Advanced Engineering Informatics. 62. 10.1016/j.aei.2024.102567.

4. М. В. Жаров / Моделирование оптимизации для организации производств цехов машиностроения в программной среде Anylogic // Вестник РГРТУ. 2020. - № 71. – С. 151-161.

5. Минигалиев, А. А. Оптимизация имитационной модели производства пресс-форм в среде Anylogic / А. А. Минигалиев, И. М. Кычкин // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых) : Международная молодёжная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Материалы конференции. Сборник докладов. В 6-ти томах, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том V. – Казань: Индивидуальный предприниматель Сагиева А.Р., 2021. – С. 447-453.

УДК 62-182

Разиньков Н.В., Никулин В.В.
Научный руководитель: Фадин Ю.М., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕЛЮЩАЯ ЗАГРУЗКА БАРАБАННОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Рассматривая процесс измельчения материала в шаровых мельницах, можно отметить, что наибольшее влияние оказывают характеристики мелющих тел. Одной из главенствующих характеристик, выступает материал мелющих тел. В настоящее время, существует большой список материалов, применяемых для производства мелющих тел, в который входят стали, чугуны и керамика [1].

Белый чугун используется в шаровых мельницах как абразивный материал. Он износостоек благодаря карбидам хрома и устойчивости к

коррозии. Керамические мелющие тела дают более высокое извлечение халькопирита, чем чугунные, из-за более низкого pH и меньшего содержания в пульпе, а поверхность продуктов ровнее и гидрофобнее. Чугунные тела сильнее корродируют и шероховаты, а при измельчении сфалерита с керамикой электрохимическое взаимодействие слабее. Чугунные мелющие тела улучшают флотацию, снижают износ и расход реагентов. Высокохромистые шары только из мартенсита сильнее изнашиваются в кислородной среде, тогда как сочетание феррита и мартенсита снижает износ; в некоторых системах хромовые шарики ограничивают образование гидроксидов в целлюлозе, что положительно влияет на флотацию.

Свойства стальных мелющих тел зависят от состава и термообработки. Большинство промышленных мелющих тел делают из низколегированных мартенситных сталей, которые подходят для большинства условий и имеют оптимальное соотношение стоимости и износа. Низколегированные высокоуглеродистые стали в закалённом состоянии самые прочные и твёрдые, поэтому хорошо сопротивляются абразивному износу, а высокохромистые стали экономичны благодаря износостойкости и положительному влиянию на химический состав целлюлозы. Исследования показали, что хромистые шары часто дают более высокое извлечение металлов при флотации, чем высокоуглеродистые или кусковые, однако при других условиях результаты могут быть противоположными, а кованая сталь иногда сильнее загрязняет процесс железом.

Невозможно также не отметить износ мелющих тел. На износ мелющих тел, в шаровой мельнице, влияют: состав мелющих тел и их коррозионная стойкость.

Коррозионный износ обусловлен электрохимической разницей потенциалов между мелющими телами.

Чем больше содержание хрома в мелющих телах - тем выше коррозионная стойкость.

Абразивный износ – это микрорезание поверхности мелющих тел твёрдыми частицами. Скорость такого износа зависит от твёрдости мелющих тел, размера и распределения твёрдых фаз в микроструктуре, реологических свойств пульпы и содержания абразивных минералов в руде. При росте содержания диоксида кремния в железной руде скорость износа всех сплавов с разным содержанием хрома заметно увеличивается.

Ударный износ возникает из-за повторяющихся высокоэнергетических соударений мелющих тел в мельнице и

проявляется поверхностными усталостными трещинами, отслаиванием и объёмным растрескиванием, а воспринимаемая энергия удара зависит от скорости вращения мельницы, диаметра шаров и мельницы, степени заполнения и крупности частиц. Содержание остаточного аустенита в микроструктуре решающе влияет на ударную стойкость: при его содержании более 15% мартенситное превращение под ударом вызывает макрорасслоение и разрушение, но полное устранение остаточного аустенита тоже снижает вязкость.

Также можно отметить, что геометрические параметры также оказывают существенное влияние на эффективность измельчения. Размер шаров должен быть достаточным для разрушения наиболее крупных и твёрдых частиц руды, а его оптимум зависит от соотношения размеров исходного сырья и продукта, параметров мельницы и кинетики разрушения. Обычно крупные шары эффективнее измельчают крупные частицы, а мелкие – мелкие: крупные действуют ударом, мелкие – истиранием. Поскольку мелким шарам иногда не хватает ударной энергии для разрушения частицы, важны оба размера. Оптимальный диапазон должен обеспечивать достаточную энергию для разрушения крупных частиц, не приводя к образованию избытка сверхмелких фракций [3, 4].

Форма мелющих тел наряду с прочими параметрами играет важную роль в измельчении и существенно влияет на последующие процессы, такие как флотация. Различия формы обусловливают разные значения площади поверхности, насыпной плотности и механизмов контакта при измельчении. Тела разной формы занимают различное положение торца и плеча в мельнице, что ведёт к разной потребляемой мощности и поведению нагрузки; точечное и плечевое положения представляют собой угловые положения соприкосновения футеровки с шихтой и отхода шихты от футеровки соответственно. Кроме того, площадь поверхности, определяемая формой тел, делает шихту более подвижной, позволяя ей перемещаться между слоями мелющих тел и эффективнее поднимать груз [2].

Подводя итог можно отметить, что на протяжении многих лет исследования были направлены на повышение качества мелющих тел, чтобы они выдерживали высокоабразивные и коррозионные среды в шаровых мельницах, а также сводили к минимуму загрязнение пульпы и не влияли на последующие процессы вроде флотации. В высокоабразивных средах применяют высокопрочные белые чугуны, а там, где загрязнение должно быть минимальным, – шары из высокохромистой стали. Изучались методы производства (ковка или

литьё) и термообработка, чтобы определить их влияние на микроструктуру, однако поиск тел, устойчивых одновременно к абразивному и ударному износу и при этом долговечных, продолжается. Создаются мелющие тела разных форм – цилиндры, эллипсоиды, кубы, усечённые конусы, – способные конкурировать со сферическими. Свойства тел влияют на эффективность измельчения, причём распределение по размерам важнее плотности, формы и твёрдости; на эффективность мельницы также влияют загрузка тел, pH, скорость мельницы и степень износа. Лучше всего подходят тела с низким износом: они дольше служат и дают меньше отходов, влияющих на последующие процессы. Тем не менее многие аспекты работы шаровой мельницы, связанные с мелющими телами, ещё не изучены. Для повышения эффективности нужно использовать такие свойства тел, как форма, твёрдость и размер. Поскольку большинство современных тел, например, из высокохромистого чугуна и высокоуглеродистой низколегированной стали, содержат и мартенсит, и аустенит, в структуре шарика для минимизации износа должны присутствовать твёрдый мартенсит и аустенит. Некоторые руды, например, золотоносные и медные, являются высокоабразивынми и вызывают быстрый износ мелющих тел.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В. С. Богданов, С. И. Анциферов, Д. В. Богданов, Ю. М. Фадин. Теоретические основы расчета усовершенствованных конструкций шаровых барабанных мельниц: монография / – Старый Оскол: ТНТ, 2023. – 360 с.: ил.

2. Matsanga, N.; Nheta, W.; Chimwani, N. A Review of the Grinding Media in Ball Mills for Mineral Processing. Minerals 2023, 13, 1373. https://doi.org/10.3390/min13111373

3. Gupta, A.; Yan, D.S. Mineral Processing Design and Operation: An Introduction; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2006.

4. Wills, B.A.; Napier-Munn, T.J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery, 7th ed.; Elsevier: London, UK, 2005; ISBN 0750644508.

УДК 666.94, 621.926

Сальников Д.А., Закирова Ю.С.
Научный руководитель: Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДА МЕЛЬНИЦЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ПОМОЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЦ ВЯЖУЩЕГО

Помол является одной из наиболее энергоёмких и дорогостоящих операций в производстве вяжущих веществ. На его долю приходится значительная часть общих энергозатрат производства. При этом именно тонкость помола в определяющей степени влияет на активность вяжущего, его водопотребность, скорость гидратации и конечную прочность затвердевшего камня. Особую актуальность оптимизация помола приобретает при производстве многокомпонентных композиционных вяжущих, в состав которых входит большое количество минеральных добавок различной природы и размалываемости, поскольку при совместном измельчении гранулометрия продукта может оказаться неоптимальной [1].

В российском ГОСТ 31108-2016 и европейском стандарте EN 197 композиционный цемент выделен как отдельный вид вяжущих, содержание минеральных добавок в котором должно лежать в диапазоне 36–80 %, количество добавок должно быть не менее двух, они должны отличаться по природе и активности. При этом замена клинкерной составляющей в композиционных цементах на минеральную добавку может обеспечить экономию энергии порядка 21–60 % [2, 3].

Исходя из того, что большое влияние на энергоёмкость помола оказывает не только состав композиционного цемента, но и вид помольного агрегата, целью данной статьи выступал анализ влияния типа помольного агрегата и интенсивности измельчения на удельную поверхность и форму частиц вяжущего.

Различия механических процессов, происходящих в помольных системах, оказывают влияние как на дисперсный состав получаемых продуктов, так и на геометрическую форму и характер поверхности отдельных частиц [4]. Способ внешнего механического воздействия на твёрдое тело (частицы) определяет характер образования новых поверхностей. Рассмотрим основные типы мельниц (таблица 1).

Шаровая мельница является наиболее распространённым агрегатом в цементной промышленности. Частицы материала, который измельчался в двухкамерной шаровой мельнице, как правило, имеют округлую форму с окатанными гранями. Это обусловлено тем, что при водопадном режиме движения мелющих тел в первом отсеке шаровой мельницы измельчение происходит в основном за счет удара и частично за счет трения, при этом во втором отсеке – за счет истирания [4].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика помольных агрегатов

Тип мельницы	**Преобладающий механизм**	**Форма частиц**	**Относительная эффективность**
Шаровая	удар, истирание	округлая, окатанные грани	традиционная, широко применяемая
Вертикальная валковая	сжатие, сдвиг	вытянутая, осколочные края	высокая, обеспечивает быстрое твердение
Планетарная	удар, истирание, сдвиг	смешанная	высокая, но периодическая
Дезинтегратор	удар	осколочная	очень высокая, но склонность к агрегации

Принципиальным отличием вертикальной валковой мельницы от шаровой является полное отсутствие ударного воздействия на частицы размалываемого материала. При этом измельчение осуществляется за счет одновременного давления, создаваемого валками, и сил трения. Это обусловливает форму частиц: вытянутую, с оскольчатыми краями [4]. Также ключевым отличием валковой мельницы от шаровой является длительность процесса помола: в первой она может составлять несколько минут (число проходов под валками – 3–10), а во второй этот период значительно дольше и может достигать нескольких десятков минут [5].

Планетарная мельница обеспечивает высокоинтенсивное измельчение за счёт сочетания вращения барабанов вокруг собственной оси и вокруг общей оси. В шаровой планетарной мельнице «Активатор-4М» частота вращения ротора может достигать 800 об/мин, а центробежное ускорение – 1500 м/с^2 [1]. При примерно одинаковом распределении частиц каждая помольная установка формирует определённую форму и структуру измельчаемого материала [6].

Дезинтегратор представляет собой высокоскоростной помольный агрегат, работающий по принципу штифтовой мельницы с двумя встречно вращающимися роторами. Технология высокоскоростного измельчения в дезинтеграторе значительно эффективнее планетарного помола. Уже при первом прохождении через дезинтегратор зафиксировано увеличение удельной поверхности с 200 м²/кг до 280 м²/кг при времени пребывания частицы в помольном пространстве всего 3–5 секунд. При использовании планетарной мельницы для достижения такого же прироста удельной поверхности частицы должны находиться в помольной камере примерно 2 минуты [7].

Время помола и частота вращения являются ключевыми факторами, определяющими прирост удельной поверхности. Так, в частности, авторами [1] с помощью метода математического планирования эксперимента было получено уравнение регрессии, описывающее зависимость удельной поверхности композиционного цемента от времени помола и частоты вращения ротора, которое позволило доказать, что увеличение исследуемых факторов оказывает положительное влияние на контролируемый параметр. При этом степень влияния частоты вращения несколько выше.

Необходимо отметить, что морфология частиц оказывает существенное влияние на водопотребность, реологию цементного теста и, как следствие, на прочность затвердевшего камня [8]. Частицы размером 5–10 мкм вносят основной вклад в прочность цементного камня в возрасте 3–7 сут, а размером 10–20 мкм – на более поздних сроках [1].

Необходимо отметить, что существует предел удельной поверхности, превышение которого является нецелесообразным как с позиции энергетических затрат, так и с позиции прироста активности вяжущих. Так, в частности, было установлено, что увеличение удельной поверхности свыше 500 $м^2$/кг критически сказывается на водопотребности и, как следствие, на физико-механических характеристиках затвердевшего камня, что является одним из определяющих факторов, ограничивающих помол цемента до 300–350 $м^2$/кг [1].

Также важным аспектом является агрегация частиц при чрезмерном измельчении. Исследования показали, что нарушение линейной зависимости прироста удельной поверхности от времени помола сопровождается агрегацией – тесным слипанием цементных частиц между собой. В дезинтеграторе при дальнейших проходах

эффективность также снижается из-за высокой склонности к агрегации и агломерации [7].

Анализ литературы показывает, что для композиционных цементов предпочтительны агрегаты, обеспечивающие не только высокую удельную поверхность, но и оптимальное распределение частиц по размерам. Шаровая мельница остаётся базовой, но ограничена различиями в размалываемости компонентов. Вертикальная валковая мельница даёт более узкое распределение частиц по размерам и ускоренное твердение. Планетарные и дезинтеграторные мельницы высокоинтенсивны, но требуют контроля агрегации.

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальные режимы помола для каждого типа мельницы индивидуальны. Для планетарной мельницы рекомендуется время помола около 2 минут при частоте вращения ротора 35 Гц, что обеспечивает активность цемента 40,4 МПа. Для дезинтегратора эффективность достигается уже при однократной обработке, однако повторные проходы нецелесообразны из-за агрегации. Однако остаётся открытым вопрос о предельной удельной поверхности (свыше 500 м²/кг помол нецелесообразен из-за роста водопотребности) и влиянии формы частиц на свойства композиционных цементов (данные не позволяют считать форму определяющим фактором по сравнению с гранулометрическим составом).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Халюшев, А.К. Оптимизация режимов совместного измельчения композиционного цемента в шаровой планетарной мельнице / А.К. Халюшев, Н.А. Джамбеков, С.А. Джамалдинов, М.П. Нажуев, А.А. Чернильник, Н.А. Доценко // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11, № 3. URL: https://esj.today/PDF/10SAVN319.pdf

2. Евтушенко, Е.И. Изучение эффективности механоактивации отсева гранита в мельницах различного типа при синтезе наноструктурированного вяжущего / Е.И. Евтушенко, А.В. Череватова, Н.И. Кожухова [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 11. – С. 102-112. – DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-11-102-112.

3. Сивальнева, М.Н. Методы оценки механоактивированного минерального сырья для композиционных вяжущих / М.Н. Сивальнева, В.В. Строкова, В.В. Нелюбова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 9. – С. 8-22. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-9-8-22.

4. Злобин, И.А. Влияние вида применяемого помольного агрегата на гранулометрический состав продукта / И.А. Злобин, И.Н. Борисов, О.С. Мандрикова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 5. – С. 164-168.

5. Злобин, И.А. Способ механического воздействия при помоле как фактор, определяющий формирование качественных характеристик цемента / И.А. Злобин, О.С. Мандрикова, И.Н. Борисов // Цемент и его применение. 2016. № 1. URL: http://www.rucem.ru/yabbfiles/Attachments/1_2016_123_Cement.pdf

6. Получение вяжущих композиций для теплоизоляционных растворов в вихревой струйной мельнице / Л.Х. Загороднюк, Д.А. Сумской, С.В. Золотых, Е.В. Канева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 2. – С. 25-35. – DOI 10.12737/24488.

7. Самченко, С.В. Анализ изменения характеристик активированного цемента с использованием дезинтеграторной технологии / С.В. Самченко, М.А. Абрамов, А.Б. Османов // Строительные материалы. – 2022. – № 11. – С. 32–36. – DOI: https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-32-36

8. Ravaszová, S., Dvořák, K. Effect of Different High-energy Grinding Technologies on Granulometric and Crystallographic Properties of Portland Cement / S. Ravaszová, K. Dvořák //Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series. – 2023. – 22(2), 74–78. – DOI: 10.35181/tces-2022-0019.

УДК 004.046:631.11

Сарбаева В.К.
Научный руководитель: Маматов А.В., д-р техн. наук.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ПРОФИЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ О ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАЩЁННОСТИ

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов на период до 2030 года определяет необходимость повышения уровня цифровой зрелости сельскохозяйственных товаропроизводителей как условия обеспечения

продовольственной безопасности и конкурентоспособности отечественной продукции [1].

Одним из ключевых инструментов реализации данной стратегии выступает цифровое профилирование – процесс сбора и анализа данных о деятельности сельскохозяйственного производителя с использованием цифровых технологий [4]. Цифровой профиль представляет собой уровень обеспеченности данными в цифровой форме в части конкретного объекта деятельности предприятия и является базовым элементом оценки его цифровой зрелости [6].

Цифровая зрелость предприятия — это готовность компании к внедрению новых технологий во все бизнес-процессы с целью повышения производительности и конкурентоспособности. Это не просто технологический показатель, а комплексная характеристика, включающая управленческие аспекты, организационную культуру и способность к изменениям. Другие авторы определяют цифровую зрелость как «достигнутый уровень цифровизации технологий и бизнес-процессов в компании, а также полученные и ожидаемые эффекты цифровизации» [2].

Существующие методики цифрового профилирования ориентированы преимущественно на оценку финансово-экономических показателей и общих характеристик организационной среды [6]. При этом техническая составляющая – состояние парка сельскохозяйственной техники и уровень его вовлечённости в цифровые процессы – остаётся недостаточно формализованной в методическом плане.

Целью настоящей работы является разработка методики формирования цифрового профиля сельскохозяйственного предприятия на основе интегральной оценки данных о технической оснащённости.

Предлагаемая методика базируется на двухуровневой модели оценки технической составляющей цифрового профиля предприятия. Первый уровень отражает состояние парка сельскохозяйственной техники, второй – развитие информационной инфраструктуры предприятия.

Интегральный индекс цифровой зрелости технической базы предлагается рассчитывать по формуле:

$$I_{\text{ЦЗ}}=\alpha\cdot K_{\text{ПТ}}+\beta\cdot K_{\text{И}} \quad (1)$$

где $K_{ПТ}$ - коэффициент состояния парка техники, $K_{И}$ - коэффициент развития информационной инфраструктуры, α, β - весовые коэффициенты, определяемые экспертным путём с учётом приоритетов цифровой трансформации.

Коэффициент состояния парка техники рассчитывается как отношение количества единиц техники, находящейся в работоспособном состоянии и не превышающей нормативных сроков эксплуатации, к общему количеству единиц:

$$K_{ПТ}=N_{общ} / N_{раб} \quad (2)$$

где $N_{раб}$ – количество работоспособных единиц техники, $N_{общ}$ - общее количество единиц.

Анализ данных о состоянии технической оснащённости сельскохозяйственных предприятий показывает существенную дифференциацию по данному показателю [5]. В ряде хозяйств доля техники, находящейся в работоспособном состоянии и не превышающей нормативных сроков эксплуатации, не превышает 60–70%, что существенно ограничивает возможности внедрения цифровых технологий.

Коэффициент развития информационной инфраструктуры учитывает наличие на предприятии локальной вычислительной сети, систем электронного документооборота, специализированного программного обеспечения для управления производством:

$$K_{И}=M_{норм} / M_{факт} \quad (3)$$

где $M_{факт}$ – количество фактически внедрённых информационных систем из перечня, $M_{норм}$ - нормативное количество систем, определённое для данного типа предприятия.

Тип предприятия должен определяться по масштабу (микро, малое, среднее, крупное, агрохолдинг), по основной деятельности (растениеводческое, животноводческое, смешанное, перерабатывающее, садоводческое, тепличное, рыбохозяйственное, семеноводческое). Также на перечень нормативных информационных систем влияет наличие господдержки, организационно-правовая форма ведения бизнеса, является ли производитель экспортёром. Внедренной системой можно считать если соблюдаются критерии:

1. Функциональная полнота – система используется для основной задачи, а не для единичной операции.

2. Регулярность использования – система используется по установленной периодичности.

3. Кадровая обеспеченность – есть обученный персонал, назначен ответственный за информационную систему.

4. Документальная фиксация – есть акт внедрения, инструкция и регламент.

Для практической апробации методики были использованы данные условного сельскохозяйственного предприятия, специализирующегося на производстве зерновых культур. Нормативный перечень НИС для этого типа – 6 систем: ERP (управление ресурсами), FMS (управление парком техники, СЭД (документооборот), точное земледелие, дистанционный мониторинг, интеграция с ФГИС.

Общее количество единиц техники составляет 45 единиц, из них работоспособных – 38. Из шести нормативных информационных систем внедрено три.

Расчёт коэффициентов даёт следующие значения: $K_{ПТ}$=0,844; $K_{И}$=0,5. При весовых коэффициентах α=0,6; β=0,4 интегральный индекс цифровой зрелости технической базы составляет: $I_{ЦЗ}$=0,6·0,844+0,4·0,5=0,506+0,2=0,706. Полученное значение индекса (0,706) соответствует среднему уровню цифровой зрелости технической базы. Наиболее проблемным элементом является развитие информационной инфраструктуры ($K_{И}$ =0,5), что указывает на приоритетное направление для инвестиций в цифровую трансформацию.

Разработанная методика позволяет не только количественно оценить текущее состояние технической составляющей цифрового профиля, но и выявить «точки роста» — элементы, развитие которых даст наибольший эффект для повышения общей цифровой зрелости предприятия [6]. Полученные данные могут быть использованы для формирования адресных рекомендаций по внедрению конкретных цифровых решений, включая системы управления парком техники, электронного документооборота и специализированного программного обеспечения в зависимости от типа предприятия.

В работе предложен подход к построению цифрового профиля сельхозпредприятия, опирающийся на комплексную оценку его технической базы. Разработана процедура вычисления индекса цифровой зрелости, в которой учитываются как состояние парка техники, так и уровень развития информационной инфраструктуры. Проверка методики на данных условного хозяйства показала её

применимость и позволила выявить наиболее проблемные направления цифровой трансформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 29 декабря 2021 г. № 3971-р. 2024. — 116 с. — ISBN 978-5-7367-1824-5.

2. Бабкин А.В., Глухов В.В., Шкарупета Е.В. Методика оценки цифровой зрелости отраслевых промышленных экосистем // Организатор производства. — 2022. — Т. 30, № 3. DOI: 10.17073/2072-1633-2022-3-249-261.

3. Моторин О.А., Вокуева Н.Е., Сарбаева В.К., Константинов И.С., Маматов А.В., Александров Е.Н. Программный тренажёр подготовки специалистов по цифровому профилированию предприятий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2026686187. — 28.08.2026. — Заявка № 2026685903 от 24.08.2026

4. Моторин О.А., Кузьмин В.Н., Эдер А.В., Королькова А.П., Стукалин А.В., Гаврилов А.В., Альшан А.А. Цифровое профилирование сельскохозяйственных предприятий: аналитический обзор. — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. — 116 с. — ISBN 978-5-7367-1824-5.

5. Моторин О.А., Свищева М.И., Халиуллин Н.А., Вокуева Н.Е. Оснащенность сельскохозяйственной техники средствами спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS // Управление рисками в АПК. — 2022. — № 3 (45). — С. 55–64. — DOI: 10.53988/24136573-2022-03-06.

6. Печаткин, В. В. Цифровая зрелость промышленных предприятий: понятийный аппарат и методические подходы к оценке / В. В. Печаткин, А. И. Ялалова // Креативная экономика. – 2025. – Т. 19, № 7. – С. 1869-1890. – DOI 10.18334/ce.19.7.123492.

УДК 620.9

Свиридов Д.В.
Научный руководитель: Ханзаров А.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ

Россия занимает второе место в мире по запасам гидроэнергетических ресурсов после Китая. При этом большая часть гидроэлектростанций расположена в центральной части России: Волжский каскад, Ангаро-Енисейский, каскад на Каме. Значительная часть потенциала до сих пор не тронута. Речь идёт прежде всего о Сибири и Дальнем Востоке, где сосредоточено около восьмидесяти процентов всех гидроресурсов страны. Освоено из них, по разным оценкам, не больше пятой части [1].



Рис. 1 Распределение гидроэнергетического потенциала России по регионам

Развитие гидроэнергетики позволит снизить нагрузку на существующие источники электроэнергии в российских регионах [2]. В настоящее время ведётся активная разработка новых гидроэлектростанций. Согласно Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2042 года, предусмотрен ввод 12 новых крупных ГЭС суммарной мощностью более 7,5 ГВт [3]. Целью данной работы является исследование новых ГЭС и оценка их влияния на энергетический потенциал России.

Одним из крупных проектов, реализация которых уже началась, является Нихалойская ГЭС в Чеченской Республике. Станция мощностью 23 МВт строится на реке Аргун в Шатойском районе. Уже пройден трёхкилометровый деривационный тоннель, ведётся возведение здания ГЭС. Ежегодная выработка составит 105 млн кВт·ч. Ввод в эксплуатацию намечен на 2028 год [4]. Для региона это первый крупный гидроэнергетический объект, который снизит нагрузку на существующие электросети и повысит надёжность энергоснабжения горных районов. При этом за последние два десятилетия РусГидро построило в Северо-Кавказском федеральном округе 18 новых гидроэлектростанций общей мощностью 1434 МВт.

В Республике Бурятия планируется создание Мокского гидроузла, включающего Мокскую ГЭС мощностью 1200 МВт и её контррегулятор — Ивановскую ГЭС мощностью 210 МВт. Объекты разместят на реке Витим в Муйском и Баунтовском районах, в 30 километрах южнее БАМа. Суммарная выработка комплекса превысит 5,7 млрд кВт·ч в год [5]. Реализация проекта позволит обеспечить электроэнергией зону БАМа и создать условия для развития промышленности в регионе. Инвестиции в строительство превысят 1 триллион рублей.

В Якутии на Светлинской ГЭС, первой в мире гидроэлектростанции на вечной мерзлоте, введён в эксплуатацию четвёртый гидроагрегат мощностью 104 МВт. С его запуском станция достигла проектной мощности 370 МВт. Инвестиции в проект превысили 5 млрд рублей. Станция обеспечивает электроэнергией производственные объекты АЛРОСА и нужды всего Западного энергорайона Якутии [6].

Среди перспективных проектов, проектирование которых вышло на завершающую стадию, — Нижне-Зейская ГЭС в Амурской области. Проект предусматривает строительство станции мощностью 428 МВт со среднегодовой выработкой около 2,13 млрд кВт·ч. На станции установят четыре поворотно-лопастные гидротурбины мощностью 107 МВт каждая [7]. Строительство займёт до девяти лет, станция покроет растущие нагрузки в энергосистеме Дальнего Востока.

Крапивинская ГЭС в Кемеровской области мощностью 345 МВт включена в Генеральную схему с планом завершения к 2031 году. Строительство гидроузла на реке Томь началось ещё в 1976 году и было приостановлено в 1989-м. Изначальная мощность в 300 МВт может быть увеличена до 345 МВт за счёт современного оборудования. Проект

позволит решить проблемы водоснабжения и обеспечить энергией Кузбасс.

В Якутии компания «Эльга» заявила о готовности инвестировать в строительство Канкунской ГЭС мощностью 1 ГВт на реке Тимптон. Ввод в эксплуатацию ожидается в 2036 году, с 2039 года мощность увеличится до 1 ГВт. Ресурс выработки — 4,8 млрд кВт·ч. Проект призван решить энергетический дефицит Дальнего Востока и обеспечить развитие промышленности Якутии.

Ещё один перспективный объект — Нижне-Ниманская ГЭС в Хабаровском крае мощностью 360 МВт. Ввод запланирован на 2037 год. В Приморском крае планируется строительство Приморской ГАЭС мощностью 600 МВт, которая повысит надёжность энергоснабжения региона и позволит сглаживать пиковые нагрузки

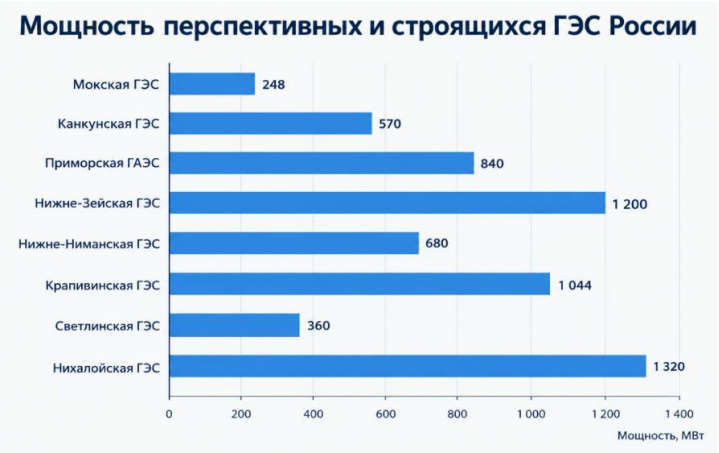


Рис. 2. Ключевые проекты новых ГЭС России и их мощность

Отдельного внимания заслуживает развитие малой гидроэнергетики. В России около 2,5 млн малых рек, и технический потенциал малой гидрогенерации оценивается в 380–500 млрд кВт·ч в год. Освоено из этого – меньше одного процента [8]. Малые ГЭС решают задачу энергоснабжения удалённых территорий, где завоз топлива стоит огромных денег. Они автономны, экологичны, строятся за пару лет. Примером успешной реализации таких проектов служит Сегозёрская малая ГЭС в Карелии мощностью 8,1 МВт, запуск которой запланирован на 2026 год.

Сравнение крупных и малых ГЭС показывает, что у каждого типа есть свои преимущества. Крупные станции обеспечивают большую выработку и низкие удельные затраты, но требуют длительного строительства и значительных инвестиций. Малые ГЭС, напротив, имеют более высокие удельные затраты, но строятся быстро и могут работать автономно, обеспечивая энергией отдалённые посёлки.



Рис. 3. Сравнение крупной и малой гидроэнергетики по ключевым параметрам

Инвестиционная программа Группы РусГидро на 2026–2030 годы предусматривает финансирование в размере 950 млрд рублей, из которых 530 млрд рублей будет направлено на строительство новых энергообъектов. На Северном Кавказе компания введёт 47,7 МВт новых мощностей малых ГЭС на условиях программы ДПМ ВИЭ.

Реализация новых проектов ГЭС, включённых в Генеральную схему до 2042 года, формирует долгосрочную энергетическую инфраструктуру, которая должна успевать за инвестиционным развитием макрорегионов. Ввод новых станций позволит снизить нагрузку на существующие электростанции, избавит от необходимости передачи энергии из других регионов и повысит экономическую эффективность энергосистемы в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системный взгляд на эффектность развития гидроэнергетики России / Ф. Веселов, О. Маширова, Т. Радченко [и др.] // Энергетическая политика. – 2024. – № 1(192). – С. 14-27. – DOI 10.46920/2409-5516_2024_1192_14. – EDN NOPPFP.

2. Исследование эффективности использования геотермальной

теплонасосной установки в климатических условиях российских регионов / П. А. Трубаев, Ю. А. Кошлич, А. В. Белоусов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 3. – С. 49-67. – DOI 10.34031/2071-7318-2024-10-3-49-67. – EDN CGCLWP.

3. Цивилев: российские компании уже начали работы по строительству новых ГЭС // ТАСС. 2025. 26 окт. URL: https://tass.ru (дата обращения: 12.10.2026).

4. РусГидро приступило к строительству здания Нихалойской ГЭС // Вестник РусГидро. 2026. № 4, апр. URL: https://rushydro.ru (дата обращения: 12.10.2026).

5. В Бурятии обсудили реализацию проекта строительства Мокского гидроузла // Официальный портал органов государственной власти Республики Бурятия. 2026. 19 мая. URL: https://egov-buryatia.ru (дата обращения: 12.10.2026).

6. Юрий Трутнев: АЛРОСА вывела Светлинскую ГЭС на проектную мощность 370 МВт // АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики»: [сайт]. 2026. 16 сент. URL: https://erdc.ru (дата обращения: 12.10.2026).

7. «РусГидро» завершает проектирование Нижне-Зейской ГЭС // Энергетическая политика. 2026. 7 окт. URL: https://energy-policy.ru (дата обращения: 12.10.2026).

8. Рахманов А.А. Решение вопроса местного дефицита мощности в энергосистеме с помощью малых ГЭС // А.А. Рахманов, А.Ю. Русин // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». – 2025. – № 3 (27). – С. 60–67.

УДК 691.11

Святченко А.В.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРОБЛЕМА ДЕГРАДАЦИИ НАСАЖДЕНИЙ ЯСЕНЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

В центральных и южных регионах России, включая Белгородскую область, в последние десятилетия наблюдается стремительное

усыхание насаждений ясеня (*Fraxinus*) [1]. Ключевой причиной этого процесса является инвазия карантинного вредителя – ясеневой изумрудной узкотелой златки (*Agrilus planipennis*) [2]. Данный вид, чей естественный ареал охватывает Восточную Азию, в начале 2000-х годов проник в европейскую часть России и с тех пор активно расширяет вторичный ареал.

Личинки златки развиваются под корой, повреждая луб – проводящую ткань, отвечающую за транспорт питательных веществ. Это приводит к быстрому ослаблению и усыханию дерева. Характерной особенностью заражения является его скрытность на ранних стадиях: внешние признаки угнетения могут отсутствовать, в то время как внутренние ткани уже разрушены. Учитывая высокую скорость распространения вредителя и ограниченную эффективность химических методов защиты в условиях городской среды, единственной действенной мерой остается санитарная вырубка пораженных деревьев.

Массовая вырубка усыхающих деревьев рода ясеня, предпринимаемая для обеспечения безопасности, образует значительные объемы древесных отходов. Традиционно такая древесина, особенно в состоянии усыхания, используется преимущественно как дровяное топливо или сырье для углежжения. Однако такой подход не в полной мере соответствует принципам рационального природопользования и устойчивого развития.

Современная стратегия обращения с отходами ориентирована на их вовлечение в производственные циклы в качестве вторичного сырья [3]. Древесина сохраняет свою физико-химическую основу – целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин, что открывает возможности для ее использования в производстве композиционных материалов [4], в том числе обладающих сорбционными свойствами.

Способность древесины к сорбции определяется ее структурой. Научные исследования [5] показывают, что древесные отходы обладают развитой удельной поверхностью и содержат значительное количество кислородсодержащих функциональных групп (карбоксильных и гидроксильных), что определяет их способность к адсорбции загрязнителей. Особенностью лиственных пород, к которым относится ясень, является более низкое содержание смол и жиров по сравнению с хвойными, что упрощает доступность пор для сорбируемых веществ [6].

Практическое применение сорбционных свойств древесины ясеня в очистке водных сред было проведено автором статьи на кафедре

промышленной экологии БГТУ им. В.Г. Шухова, что подтвердило эффективность использования модифицированных опилок ясеня для извлечения ионов тяжелых металлов (меди, свинца, никеля).

Помимо очистки воды, древесину можно использовать для очистки воздуха [7]. Известно [8], что древесные материалы способны поглощать из воздуха газообразные загрязнители – оксиды азота, диоксид серы, формальдегид и другие летучие органические соединения. Для городской среды это особенно значимо, поскольку концентрации этих веществ в атмосфере часто превышают нормы ПДКс.с. Один из способов решения проблемы – включить древесину в состав композитных материалов в качестве фильтрующего компонента. Такое внедрение согласуется с принципами циркулярной экономики и целями стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов до 2030 года.

Пораженную древесину, после соответствующей обработки, можно рассматривать как сырье для производства композитных сорбционных материалов – это пример замкнутого цикла, когда отход одного процесса становится ресурсом для другого. Такие композиты позволят утилизировать отходы санитарных рубок и одновременно очищать воздух от газообразных загрязнителей. Их можно интегрировать в элементы городской инфраструктуры – например, в состав фильтрующих панелей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации за 2024 год. – Пушкино, 2025. – 329 с.

2. Сергеева, Е.С. Инвазия ясеневой изумрудной узкотелой златки в экосистемы ООПТ юго-востока средней полосы России / Е.С. Сергеева // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2023. – № 14. – С. 343–347.

3. Степина, И.В. Композиционные материалы на основе модифицированных лигносульфонатов и целлюлозосодержащих отходов / И.В. Степина, А.Д. Жуков, В.В. Строкова, С.И. Баженова // Нанотехнологии в строительстве. – 2026. – Т. 18, № 2. – С. 232–241.

4. Степина, И. В. Развитие отечественных научных направлений в области древесных материалов / И.В. Степина // Строительные материалы. – 2025. – № 8. – С. 75–90.

5. Микова, Н.М. Синтез и свойства пористых углерод-углеродных композитных материалов на основе биоуглей из коры лиственницы и

целлюлозы древесины ели / А.М. Жижаев, И.П. Иванов, Б.Н. Кузнецов // Журнал прикладной химии. – 2025. – Т. 98, № 2. – С. 136–146.

6. Хакимова, Ф.Х. Комплексная утилизация лигносодержащих древесных отходов / Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, Р.Р. Хакимов, И.И. Фонарев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2024. – № 3 (399). – С. 188–202.

7. Ефремов, С. А. Получение и исследование новых углеродных материалов из растительных отходов и их применение в очистке газовоздушных смесей / С.А. Ефремов, А.Т. Кабулов, С.В. Нечипуренко // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 5 (31). – С. 527–531.

8. Фарберова, Е. А. Углеродные сорбенты в процессах обеззараживания воздуха / Е.А. Фарберова, А.В. Виноградова, К.А. Ощепкова, Е.А. Тиньгаева // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 52, № 10. – С. 98–103.

УДК 621.3

Седогин М.А.
Научный руководитель: Белоусов А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА

В настоящее время в университетах для практического изучения особенностей электроприводов современных производственных механизмов применяют следующие методы:

- исследование математических моделей механизмов;
- исследование реальных механизмов;
- исследование механизмов на основе лабораторных стендов [1].

Одними из производственных механизмов, изучаемых в университетах в рамках профильных дисциплин по электроприводу, являются мостовые краны. Они широко распространены на современных промышленных предприятиях и используются для решения различных задач, связанных с транспортировкой тяжелых и крупногабаритных грузов. При этом мостовые краны конструктивно имеют большие габариты, что делает невозможным их исследование в университете на основе реальных механизмов.

Для изучения мостовых кранов широко применяют системы математического моделирования. Например, при помощи среды моделирования MATLAB Simulink становится возможным исследование новых способов автоматизации электроприводов мостового крана [2]. К недостаткам математического моделирования можно отнести наличие допущений, которые задаются при создании моделей. Следовательно, его использование не позволяет полностью учесть процессы, происходящие в реальном электроприводе.

В настоящее время для изучения электроприводов особенно актуальна разработка лабораторных стендов. В частности, использование лабораторных стендов для изучения электроприводов мостовых кранов позволяет исследовать возможности систем управления для снижения величины колебаний груза [3]. Применение стендов делает возможным практическое исследование смоделированных процессов.

Целью данной работы является анализ возможных конструкций лабораторных стендов для изучения электропривода мостового крана, исследование их конструктивных и функциональных преимуществ и недостатков, а также оценка актуальности применения данных стендов в рамках профильных дисциплин по электроприводу в университетах.

Одним из вариантов разработки лабораторного стенда для изучения электропривода мостового крана является применение статической конструкции с системой управления электроприводов по схеме «полупроводниковый преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ППЧ-АД). Данный вариант лабораторного стенда представляет собой полноценную копию реального мостового крана уменьшенного размера. В состав электроприводов описанных стендов входят промышленный логический контроллер (ПЛК) и преобразователь частоты (ПЧ), а также может использоваться периферийное управляющее оборудование (пульт управления, HMI-панель и т.д.). Коммуникация между ПЛК и ПЧ осуществляется путем промышленных протоколов RS-485 и Ethernet. Структурная схема лабораторного стенда представлена на рис. 1.

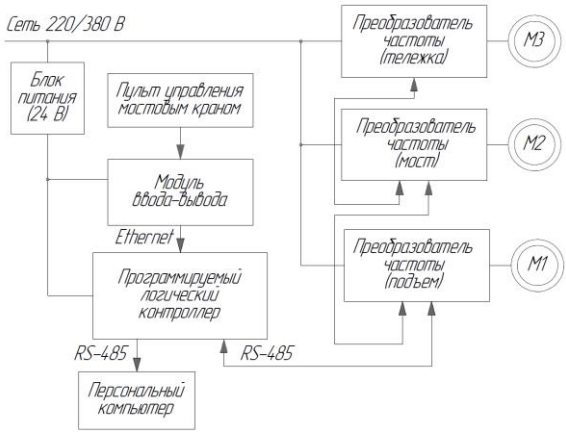


Рис. 1 Структурная схема лабораторного стенда с системой ППЧ-АД
М1, М2, М3 – электродвигатели механизмов мостового крана

С точки зрения образовательного процесса данный лабораторный стенд позволит развить компетенции студентов в области изучения современных систем частотного управления электроприводами. Использование промышленных протоколов связи делает возможным создание приложений для управления механизмами мостового крана с персонального компьютера, а также разработку различных автоматизированных систем диспетчеризации (SCADA-систем), что является актуальным направлением в современном электроприводе.

Несмотря на уменьшенный по сравнению с реальным мостовым краном размер стенда, его конструкция предусматривает в своем составе асинхронные двигатели, которые имеют большие габариты и вес, что делает невозможным закрепить их на каркасную конструкцию. Стенд необходимо крепить на стены, что делает его немобильным (Рис. 2). Подобные стенды возможно устанавливать только в лабораториях, где есть необходимое для размещения пространство, что является еще одним недостатком данной конструкции.

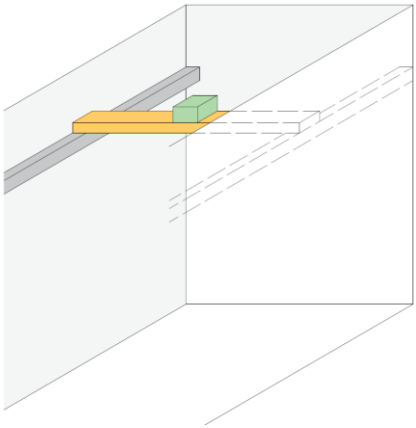


Рис. 2. Упрощенная схема лабораторного стенда с системой ППЧ-АД
Светло-серый – стены, серый – опорные балки, оранжевый – главная балка мостового крана, зеленый – крановый тельфер

Другим вариантом разработки лабораторного стенда для изучения электропривода мостового крана является использование каркасной конструкции с использованием серводвигателей. Задание команд для серводвигателей осуществляется при помощи программной среды ROS2, которая включает в себя множество библиотек и инструментов для настройки. Управление механизмами осуществляется с персонального компьютера через микроконтроллер ESP32, который получает управляющие команды от ROS2 и передает их через драйверы на серводвигатели. Также возможно подключение периферийных управляющих устройств (пультов управления, HMI-панелей и т.д.). Структурная схема стенда представлена на рис. 3.

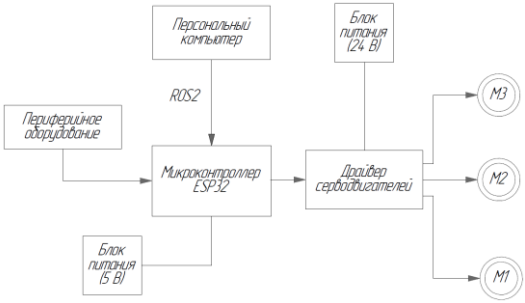


Рис. 3 Структурная схема лабораторного стенда с серводвигателями
M1, M2, M3 – электродвигатели механизмов мостового крана

Лабораторные стенды данной конструкции могут составлять основу мультидисциплинарной лаборатории автоматизированного электропривода. Применение программной среды ROS2 для управления серводвигателями может значительно развить компетенции студентов как в области электропривода, так и в области программирования. Ключевой особенностью данной конструкции является использование ESP32, поддерживающего подключение широкого спектра оборудования, которое можно применять при создании различных систем управления электроприводами мостового крана [4]. К достоинствам стенда можно отнести каркасную конструкцию с колесами, которая делает его мобильным (рис. 4).

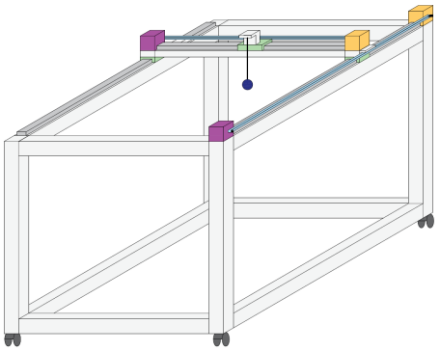


Рис. 4. Упрощенная схема лабораторного стенда с серводвигателями
Светло-серый – каркас, серый – рельсы, оранжевый – натяжитель ремня, зеленый – подшипник, голубой – ремень, фиолетовый – серводвигатель

Разработка и применение лабораторных стендов для изучения электроприводов мостовых кранов в рамках профильных дисциплин по электроприводу в университетах является актуальным направлением. Использование данных стендов позволяет студентам наглядно изучить конструкцию электроприводов мостового крана, а также обеспечивает развитие у них практических компетенций.

Лабораторные стенды со статической конструкцией и системой электропривода ППЧ-АД позволяют развить у студентов компетенции в области настройки параметров частотно-регулируемого электропривода, а также в области разработки автоматизированных систем диспетчеризации.

Лабораторные стенды с каркасной конструкцией и серводвигателями являются мультидисциплинарным учебный

оборудованием и позволяют развить компетенции как в области современного электропривода, так и в области программирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Принципы построения унифицированного лабораторного стенда для исследования цифровых систем электропривода с барабанно-роликовым исполнительным механизмом / Ю.М. Крылов, А.А. Агапов, Т.Е. Черных, А.М. Литвиненко // Электротехнические системы и комплексы. – 2024. – № 2(63). – С. 27-33. – DOI 10.18503/2311-8318-2024-2(63)-27-33. – EDN JRPUMH.

2. Малышева, А.Д. Автоматизация работы электропривода мостового крана с применением системы машинного зрения / А.Д. Малышева, М.А. Седогин, А.И. Лимаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2025. – № 55. – С. 124-141. – DOI 10.15593/2224-9397/2025.3.06. – EDN RQWGVE.

3. Аксаментов, Д.Н. Исследование адаптивного закона управления мостовым краном на его макете / Д.Н. Аксаментов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2022. – № 2. – С. 47-57.

4. Седогин, М.А. Машинное зрение как инструмент оценки эффективности системы управления электроприводом мостового крана / М.А. Седогин, А.И. Лимаров // Энергетические системы. – 2025. – № 4. – С. 79-85. – DOI 10.34031/ES.2025.4.09. – EDN YTZJYA.

УДК 004.67

Семенов Р.А.
Научный руководитель: Стативко Р. У., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТА И СРАВНЕНИЕ С ТРАДИЦИОННЫМИ ВИДАМИ

Сегодня учёные и инженеры стараются уйти от уже традиционных методов работы заводов, фабрик и всей промышленности в целом. Этот уход связан с главным тезисом дальнейшего развития человечества:

всеми доступными силами и средствами сократить до минимума использование тех ресурсов, что в процессе переработки выбрасывают в атмосферу большое количество вредных веществ, и заменить уже устоявшиеся методы работы промышленности на более экологичные. Этот процесс получил название декарбонизация и затрагивает почти все сферы деятельности человека.

Идея, безусловно, звучит уместно. Главный аргумент в силу такого тренда заключается в том, что уже с XX века люди сильно продвинулись в этом смысле вперёд. Дело в том, что во второй половине XVIII века и на протяжении всего XIX века все страны, от мала до велика, последовательно осуществляли переход от ручного труда к тяжёлому производству [1]. Переход получил название «Промышленная революция» и вошёл в историю, как переломный момент в развитии человечества.

Пароходы, телеграфы, паровозы, фабричное производство – это всё стало новой вехой в технологических достижениях всей цивилизации. Всё было в новинку, все достижения и изобретения только осваивались, а потому об экологической обстановке в мире никто не задумывался. Справедливости ради, о многих негативных эффектах массового использования ископаемых ресурсов люди не знали в силу недостатка знаний.

Пиком же негативного влияния на природу планеты принято считать промежуток с 1950 по 1970 год. Тогда количество заводов росло чуть ли не ежемесячно. Только в СССР с 1945 по 1965 годы построено и введено в эксплуатацию 16 нефтеперерабатывающих заводов. Кроме того, в эти годы появилось множество продуктов, которые значительно облегчили жизнь людей, и от которых, как бы это не было парадоксально, сейчас все стараются избавиться [2]. А главное достижение – ядерное оружие. Оно в представлении не нуждается.

Постепенно человечество начало осознавать, что развитие сопровождается уничтожением целых экосистем и популяций животных. Новые технологии уже освоены и их опасное воздействие на окружающую среду теперь не просто легко заметить своими глазами, но и можно оценить математическими расчётами. Например, технический документ Агентства по охране окружающей среды США (EPA) содержит способы расчёта выбросов, загрязняющих атмосферу на территории США в период с 1900 по 1996 год. Одно из положений документа – таблица «Количество граммов свинца на галлон бензина» [3]. Суть такова: с 1970 по 1991 год содержание свинца в бензине сократилось в немыслимые 12000 раз! Это стало прямым

доказательством, что источником загрязнения атмосферы был именно транспорт и промышленность, а государственное регулирование привело к радикальному снижению выбросов.

Осознание того, что традиционные виды топлива в лице бензина и дизеля не только наносят вред окружающей среде, но и являются исчерпаемыми ресурсами, дало толчок к поиску принципиально новым решениям вопроса (Рис. 1). Именно в этот момент было положено начало глобальному переходу на более экологичные виды топлива: электричество, водород, биотопливо и синтетические аналоги.



Рис. 1 Плакат «Не загрязняйте водоёмы!» художников Георгия Солонина и Евгения Чичкана, 1964 год.

XX век стал эпохой углеводородов, XXI век призван стать эпохой декарбонизации транспорта, где на смену выхлопной трубе приходят электродвигатели и топливные элементы.

Что же придёт на смену старым видам топлива? Стоит выделить следующие группы:

Электричество – самый радикальный путь с полным отказом от ДВС. Энергия запасается в аккумуляторных батареях и используется электродвигателем. Энергию можно получать из возобновляемых источников (солнце, ветер, гидроэнергия), что делает этот вид топлива углеродно-нейтральным. Остаются вопросы к ёмкости батареи, скорости заряда и общей инфраструктуре.

Водород – вариативный вид топлива. Может использоваться либо в топливных элементах с химической реакцией с кислородом и последующей выработкой электричества, либо в качестве горючего в двигателях. При сгорании образуется только водяной пар, что делает его очень экологичным. Основные проблемы – хранение и транспортировка, а также затраты на производство.

Биотопливо – средство, получаемое из биологического сырья (растений и органических отходов). К такому виду относится биоэтанол, биодизель и биогаз. Может использоваться в существующих двигателях с минимальными изменениями, но производство требует значительных земельных ресурсов и может конкурировать с продовольственным сектором.

Синтетическое топливо (e-fuels) – искусственное топливо, получаемое путём соединения водорода с улавливаемым углекислым газом. Это электронные бензин и дизель, а также диметиловый эфир (DME). Такое топливо совместимо с существующей инфраструктурой, но энергозатратно в производстве.

Сжиженный природный газ (СПГ) и компримированный природный газ (КПГ) – скорее переходное решение, поскольку газ является ископаемым ресурсом, но выделяет меньше углекислого газа при сгорании.

Все «новички» имеют свои преимущества и недостатки. Но их общая задача – значительно снизить углеродный след транспорта и уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов. Наконец можно приступить к анализу этих видов топлива.

Рассмотрим все виды по нескольким ключевым параметрам. Для удобства все категории топлива и их характеристики будут приведены в виде таблицы (Табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение новых и потенциальных видов топлива для транспорта

Вид топлива	**Энергоёмкость (LHV)**	**Основной «+»**	**Выбросы CO2 (WTW)**
Электричество	23 кВт*ч / 100 км	Нулевой выхлоп, высокий КПД	0-200 г/км
Водород	120 МДж / кг	Нулевой выхлоп	0.4-2.5 кг CO2 / кг H2
Биотопливо	26.8 МДж / кг	Совместимость с ДВС	14-82 г/МДж

Синтетическое топливо	43 МДж / кг	Совместимость с инфраструктурой	1-9 г/МДж
СПГ / КПГ	50 МДж / кг	Меньше CO2 и сажи	Значительно ниже дизеля

Вроде бы всё доступно и понятно, но чтобы действительно оправдать переход к новым видам топлива, нужно знать, что представляют из себя классические бензин и дизель:

Бензин – горючая смесь лёгких углеводородов, получаемая из нефти. Используется как топливо для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в автомобилях, авиационной технике, а также в качестве растворителя и сырья в нефтехимической промышленности.

Дизельное топливо – жидкий нефтепродукт, получаемый в результате переработки нефти. Предназначен для использования в дизельных двигателях внутреннего сгорания, где воспламенение происходит за счёт сжатия, а не искры.

Оба топлива в процессе горения выбрасывают вредные вещества в атмосферу. Нужно выяснить, насколько больше альтернативных видов топлива.

Рассчитаем их энергоёмкость (1), выбросы при сгорании и выбросы в пересчёте на 100 км. Формула расчёта энергоёмкости:

$$E = LHV \cdot \rho, \tag{1}$$

где LHV – количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании единицы топлива (без учёта теплоты конденсации водяного пара), ρ – плотность топлива.

Для бензина LHV составляет около 44 МДж/кг, для дизеля – 42.7 МДж/кг.

Плотности топлива: бензин – 0.75 кг/л, дизель – 0.84 кг/л.

Подставляя значения в формулу получим энергоёмкости бензина и дизеля, равные 33 МДж/л и 35.9 МДж/л соответственно.

В одном литре бензина содержится столько же энергии, сколько в 8-9 кВт*ч электроэнергии. Впрочем из-за низкого КПД ДВС (около 2025%) полезно используется лишь четверть этой энергии.

Количество выбросов зависит от химических свойств. Бензин и дизель имеют разные молярные массы. С учётом этих различий при сгорании 1 литра бензина выделяется около 2.32 кг углекислого газа, для дизеля ещё больше – 2.65 кг.

Средний расход бензина на 100 км составляет 7 литров, дизеля – 6 литров. Таким образом при сжигании 7 литров бензина выделяется 16.24 кг углекислого газа, при сжигании 6 литров дизеля – 15.9 кг.

Это были расчёты выбросов «от бака до колеса» (TTW). Учёт всего жизненного цикла, включая добычу, переработку и транспортировку, повысит эти значения на 15-25%.

Оформим данные бензина и дизеля в табличном виде (Табл. 2), как и для альтернативных видов топлива (Табл. 1).

Таблица 2 – характеристики традиционного топлива

Вид топлива	**Энергоёмкость (LHV)**	**Основной «+»**	**Выбросы CO2 (TTW)**
Бензин	44 МДж/кг	Высокая энергоёмкость	2.32 кг/л
Дизель	42.7 МДж/кг	Высокий КПД двигателя	2.65 кг/л

Теперь мы можем свести характеристики всех рассмотренных видов топлива в единую картину.

Итоговое сравнение показывает, что универсального решения пока не существует. Каждый рассмотренный вид топлива имеет свою область, где проявляются их преимущества, а недостатки не имеют большой роли. Если выделять конкретно, то получается такая картина:

Электричество оптимально для легкового и городского транспорта благодаря максимальному КПД и нулевым выбросам.

Водород перспективен для тяжёлого транспорта и дальних перевозок, где батареи неэффективны.

Биотопливо и e-fuels необходимы для тех секторов, где электрификация невозможна или крайне затруднена (например, авиация и судоходство).

СПГ/КПГ обеспечат безболезненные переходы от одного вида к другому.

Классические бензин и дизель, не смотря на постепенный уход с рынка, сохранят остаточное присутствие в течение ближайших десятилетий и могут быть резервом на случай чрезвычайного положения.

Таким образом, декарбонизация транспорта является не простой заменой одного вида топлива на другого, а диверсификацией энергоносителей с учётом интересов каждой сферы деятельности человека.

При этом сам процесс перехода невозможен без точных количественных оценок. Должны проводится сравнения по десяткам различных сценариев использования топлива. Такие анализы и тесты требуют обработки больших массивов данных и применения специализированных расчётных моделей [4]. Именно поэтому всё большее значение приобретают программные комплексы для WTWаналитики, базы данных по жизненному циклу топлива и системы имитационного моделирования. Такие технологии позволяют не только автоматизировать расчёты, но и прогнозировать последствия тех или иных решений до их реализации на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов Александр Юрьевич Индустриальный мир / Морозов А.Ю. [Электронный ресурс] // Фоксфорд. – URL: https://foxford.ru (дата обращения: 08.10.2026).

2. 2. Евгений, К. 10 опасных для природы изобретений // Огонёк. – 2010. – № 21. – С. 21.

3. National Air Pollutant Emission Trends, Procedures Document, 1900– 1996 / U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. – Research Triangle Park, NC : EPA, 1998. – 1 v. (various pagings). – (EPA-454/R-98-008). – С. 5-45.

4. Стативко Р.А., Окунева Г.Л. Применение аппарата нечетких множеств для оценки образовательных достижений студента // Информатизация образования и науки. – 2026. – Том 69, №1. – С. 99-109

УДК 331.45

Семернин Е.В.

Научный руководитель: Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ В СЛУЧАЯХ НЕКОРРЕКТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Применение средства автоматического контроля и сигнализации направлено на обеспечение безопасности технологического процесса,

снижение травматизма и повышение общей культуры безопасности труда.[1]

Системы автоматического контроля и сигнализации постоянно развиваются и на данный момент уже позволяют осуществить:

- мониторинг состояния оборудования (необходимость обслуживания, аварийные состояния);
- мониторинг состояния производственной среды (выбросы, излучения, шум и другое);
- мониторинг состояния персонала (состояние здоровья, утомляемость, эффективность поведения);
- контроль за выполнением требований охраны труда;
- обеспечение безопасности при выполнении различных технологических операций.

В условиях интенсивного развития информационных технологий: систем Искусственного Интеллекта (ИИ), Машинного Зрения (МЗ), Интернета Вещей (ИВ) и других; все больше внимания уделяется созданию различных программно-аппаратных комплексов, использующих данные технологии.

Одним из наиболее активно развивающихся направлений исследования и разработки программно-аппаратных комплексов в области охраны труда является контроль использования работниками средств индивидуальной защиты (СИЗ).[2]

Основными компонентами комплексов по контролю эксплуатации СИЗ являются:

- системы видеонаблюдения;
- системы передачи данных
- хранилища информации;
- аналитические комплексы на базе обучающегося ИИ;
- системы аварийной сигнализации, блокировки и оповещения.

Каждый из этих элементов имеет свои ограничения и недостатки, которые в итоге снижают общую эффективность и точность работы системы.

Системы видеонаблюдения сталкиваются со снижением качества изображения, получаемого в условиях реального производства, в следствие: недостаточной или чрезмерной освещенности, наличия пыли и задымления. Кроме того, перемещение работника и предметов производства может частично или полностью перекрывать видимость средств индивидуальной защиты. В связи с этим необходимо обеспечить предварительную обработку анализируемого изображения для повышения качества его распознавания.

С учетом выше сказанного аналитические комплексы на базе ИИ требуют особого подхода к их обучению. В такой ситуации необходимо не просто определить на отдельно взятом кадре присутствие человека и наличие у него тех или иных СИЗ, а проанализировать некоторую последовательность кадров с учетом возможного перемещения работника в пространстве и изменений среды на рабочем месте (динамика освещенности; перемещение других людей, механизмов и предметов производства; многое другое).[3]

Так же следует учитывать:

- разнообразие СИЗ одного типа, используемых при различных технологических операциях в зависимости от требуемого уровня защиты и специфики выполняемой работы;
- наличие для СИЗ одного типа различных цветовых решений, которые могут, как повышать их заметность, так и наоборот – снижать на фоне других СИЗ и окружающей среды;
- возможность появления СИЗ, ранее не используемых в организации, например, при изменении технологического процесса.

Таким образом «память» ИИ должна содержать достаточно большой объем данных для обеспечения необходимого качества распознавания наличия и корректности использования СИЗ, особенно при большом их многообразии. Это требует наличия развитой собственной ИТ-инфраструктуры и соответствующих затрат на ее содержание или использования сторонних «облачных» сервисов. Последний вариант влечет увеличение нагрузки на системы передачи данных и, как следствие – снижение скорости обмена данными.

Задержки во времени имеют меньшее значение, если система используется исключительно с целью выявления и фиксации нарушений эксплуатации СИЗ, для последующего ручного анализа и принятия решения в отношении действий нарушителя.

Но современные системы управления технологическими процессами могут быть модернизированы таким образом, чтобы запрещать или ограничивать возможность выполнения определенных технологических операций по результатам анализа видеопотока на предмет наличия и правильности эксплуатации СИЗ пользователями, и в этом случае время обработки, анализа и реализации реакции системы управления процессами будет иметь большое значение. При таком подходе системы передачи данных должны обеспечивать высокую пропускную способность и отказоустойчивость.

В качестве возможных сценариев взаимодействия системы управления процессами и пользователя СИЗ при их отсутствии или некорректном применении можно рассмотреть:

- запрет доступа пользователя в зоны выполнения работ повышенной опасности;
- запрет на доступ к управляющим устройствам оборудования;
- запрет выполнения отдельных технологических операций, вплоть до остановки технологического процесса.

Помимо использования механизма блокировок необходимо применение механизма информирования пользователя СИЗ о причинах блокировок путем использования соответствующей световой и звуковой сигнализации, информационных табло и голосового оповещения. На наш взгляд такой подход приведет к понимаю работником, пользователем СИЗ, причинно-следственных связей между корректным применением средств защиты и безопасностью выполнения конкретных технологических операций, что благоприятно скажется на росте культуры безопасности труда. Кроме того, такой подход даст понять работнику, что для работодателя выдача СИЗ является не вынужденной мерой под угрозой каких-либо штрафных санкций, а составляет часть системы заботы о жизни и здоровье работника и обеспечения безопасности технологического процесса, то есть обозначит приоритет безопасности над производительностью и экономической выгодой.

Таким образом, если рассматривать средства автоматического контроля и сигнализации применительно к обеспечению контроля наличия и корректности использования СИЗ при реализации различных технологических операций, то можно выделить следующие направления их развития:

- анализ и обобщение опыта эксплуатации таких систем, с целью повышения уровня их адаптации к условиям конкретных производственных процессов;
- совершение систем видеофиксации;
- повышение скорости и качества предварительной обработки изображения для последующего анализа;
- повышение эффективности аналитических систем по определению наличия СИЗ и корректности их применения с учетом производственной обстановки и характера перемещения объекта наблюдения;
- сокращение времени обработки данных от момента получения видеопотока до окончания анализа;

- увеличение скорости передачи данных;
- интеграция аналитических комплексов в системы управления производственными процессами;[4]
- развитие обратной связи с пользователем СИЗ для его информирования о выявленных недостатках, в том числе с использованием персональных устройств оповещения, которые могут быть совмещены с уже применяемыми системами треккинга, контроля и управления доступом и другими.

Появляется все больше возможностей для реализации систем автоматического контроля и сигнализации вследствие постоянного развития применяемых для их построения технологий на базе ИИ и машинного зрения, а также с развитием систем передачи данных, в том числе развитии Интернета Вещей и MASH-сетей. Одним из направлений развития таких систем должно стать обеспечение безопасности производственного процесса через недопущение выполнения технологических операций при выявлении случаев некорректного использования средств индивидуальной защиты и информирование работника о таких нарушениях в момент их возникновения, для предотвращения риска воздействия на него вредных и опасных производственных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев В.С. Разработка системы автоматизированного контроля безопасности на производстве // Вестник науки. 2025. №4 (85). —С.689-696

2. Глебова А.Э., Пескова В.А. Потенциал использования искусственного интеллекта в охране труда // Вестник науки. 2025. №4 (85). —С.1226-1233

3. Сидоренко В.Г., Кулагин М.А., Родина Д.М. Интеллектуальная система обнаружения нарушений в соблюдении требований безопасности при работах на объектах железнодорожной инфраструктуры // Автоматика на транспорте. 2025. №1. —С.55-65

4. Кононенко Р.В., Гладких А.М, Семейкин А.Ю., Ланцева В.Ю. Цифровой анализ производственных данных для повышения эффективности управления промышленной безопасностью предприятий минерально-сырьевого комплекса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2026. №1. —С.199-203

УДК 621.791.75:620.19

Сёмкин Д.В., Попов В.П., Запара У.И.
Научный руководитель: Анциферов С.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ДЕФЕКТЫ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА WAAM И LMD

Аддитивное производство с использованием электрической дуги (WAAM) или лазерного нагрева (LMD-W) и металлической проволоки находит всё более широкое применение благодаря высокой полезной отдаче материала и низкой стоимости расходных компонентов. Применение проволоки позволяет почти полностью исключить потери сырья, однако циклический характер послойного наращивания и специфические термические режимы неизбежно приводят к формированию дефектов [1], которые снижают эксплуатационные свойства готовых изделий. Понимание механизмов образования таких нарушений сплошности и геометрии является обязательным условием как для отработки технологических параметров, так и для назначения оптимальных припусков на последующую механическую доводку [6, 7, 8].

Типы дефектов при производстве по технологиям WAAM и LMD-W:

1. Газовая пористость (микропустоты).

Наиболее часто встречающимся видом микродефектов считается газовая пористость (рис. 1). На полированных шлифах она диагностируется по округлым или близким к сферическим пустотам, причём характерной чертой является их упорядоченное расположение – поры часто группируются в цепочки, следующие за границами сплавления между соседними слоями или отдельными наплавленными валиками [2]. Этот дефект возникает по трем главным причинам. Во-первых, защитный газ, который подается из сопла для изоляции металла от воздуха, из-за слишком сильного напора или завихрений может засасываться прямо в ванну расплава [3]. Во-вторых, локальный перегрев, вызванный высокой концентрацией лазерной энергии, способен вызвать испарение легколетучих легирующих добавок (цинка, марганца и магния) [6]. Образовавшиеся пары не успевают выйти наружу до застывания и остаются внутри объёма в виде замкнутых пор. В-третьих, если на самой проволоке была влага, то при экстремальной

температуре водяной пар разлагается, и выделяющийся водород становится дополнительным источником пор. Для борьбы с пористостью необходимо строго следить за сухостью сырья и плавно настраивать подачу защитного газа [2].



Рис. 1 Пример газовой пористости [4]

2. Несплавления (отсутствие адгезии).

Более опасным дефектом, который критически снижает общую прочность готового изделия, является отсутствие сплавления (рис. 2) [2]. В отличие от округлых пор, эти пустоты имеют острые, вытянутые и ветвистые края и располагаются строго между соседними дорожками металла или слоями. Основная причина проблемы в недостатке энергии: заниженная мощность лазера, чрезмерная скорость робота или высокая скорость подачи проволоки приводят к тому, что теплового потока не хватает для одновременного плавления присадочного материала и поверхностного слоя подложки (или предыдущего слоя) [5, 6]. Ситуацию ухудшает наличие оксидной пленки на поверхности металла или неверный угол наклона лазерного луча, из-за чего жидкая капля плохо растекается по твердому основанию. Особую опасность несплавления представляют тем, что они играют роль жёстких надрезов, резко понижая выносливость изделия при циклических нагрузках и создавая предпосылки для преждевременного разрушения.



Рис. 2 Пример несплавления [4]

3. Трещинообразование в условиях быстрого охлаждения.

Трещины при ускоренном охлаждении разделяют на две категории в зависимости от времени их появления и внешнего вида. Горячие трещины (рис. 3) возникают непосредственно в процессе застывания металла, когда он переходит из жидкого состояния в твердое. Они имеют извилистую форму и проходят по границам металлических зерен [5]. Холодные трещины появляются позже, когда деталь уже остыла до

комнатной температуры. Их вызывают колоссальные внутренние напряжения, возникающие из-за резкого охлаждения, особенно если в металле накопился водород или сформировалась хрупкая закаленная структура (например, мартенсит в сталях) [3]. Оба вида трещин относятся к категории критических дефектов, не подлежащих исправлению, поэтому их предотвращение достигается либо модификацией состава проволоки, либо подогревом подложки, либо оптимизацией траекторий движения лазера для более равномерного распределения тепла.



Рис. 3 Пример горячей трещины [4]

4. Нестабильность геометрии наплавленных валиков.

В идеальном случае валики должны характеризоваться постоянными шириной и высотой, а также плавным профилем поперечного сечения. Реальная картина нередко представляет собой волнообразные изменения высоты, сужения или утолщения, а также беспорядочные наплывы (рис. 4). Причины кроются в колебаниях скорости подачи проволоки, нестабильности выходной мощности лазера, а также в погрешностях позиционирования инструмента относительно обрабатываемой поверхности [7]. Важен и тепловой фактор: по мере наращивания высоты детали условия теплоотвода в подложку и окружающий газ меняются, что ведёт к изменению размеров ванны расплава даже при неизменных параметрах [1, 2]. Перечисленные искажения приводят к накоплению погрешностей формы, вынуждая завышать припуски под механическую обработку, что приводит к лишним тратам сырья.



Рис. 4 Пример нестабильной геометрии валиков [4]

5. Разбрызгивание и налипание частиц.

Интенсивное разбрызгивание (рис. 5) возникает при избыточной мощности лазера, когда перегрев расплава становится настолько сильным, что происходит его микровзрывное вскипание [5]. К аналогичному эффекту приводит и неправильная установка точки подачи проволоки в фокус лазера: если присадочный материал вводится слишком высоко или, напротив, слишком низко, стабильность переноса металла нарушается, и часть расплава выбрасывается из зоны реакции. Закрепившиеся капли не только ухудшают эстетику и чистоту поверхности, но и несут скрытую угрозу – при наращивании последующих слоёв эти посторонние включения могут стать очагами несплавлений или локальной коррозии [2].



Рис. 5 Пример разбрызгивания [4]

6. Окисление поверхности.

Снижение эффективности газовой защиты приводит к окислению поверхности наплавляемых дорожек (рис. 6) [2]. Внешне этот эффект проявляется в виде цветов побежалости – оксидная плёнка по мере увеличения толщины меняет окраску от соломенно-жёлтой до ярко-синей, фиолетовой и тёмно-коричневой [5]. При дальнейшей деградации защиты, поверхность становится шероховатой, тусклой и покрывается рыхлым слоем окалины. Главные причины – недостаточный подвод инертного газа, а также подсос атмосферного воздуха в рабочую зону из-за плохой герметизации камеры. Оксидный слой, является крайне нежелательным, так как значительно ухудшает смачиваемость при нанесении последующих слоев, что, многократно

повышает риск образования несплавлений и других внутренних дефектов [1, 6].



Рис. 6 Пример окисления поверхности [4]

Таким образом, качество деталей, получаемых методом проволочной наплавки, определяется совокупностью множества факторов, влияющих на вышеперечисленные дефекты. Каждый из рассмотренных дефектов имеет свои причины и может быть минимизирован путём комплексной оптимизации процесса – от выбора химического состава проволоки и режимов подачи газа до алгоритмов перемещения лазера.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0006 по теме «Разработка научных подходов и методов создания многономенклатурных гибридных производств на основе аддитивных технологий с использованием цифровых двойников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Albannai, A. I. A Brief Review on The Common Defects in Wire Arc Additive Manufacturing (Review Paper) / A. I. Albannai // International Journal of Current Science Research and Review. – 2022. – Vol. 05, iss. 12. – P. 4556–4576.

2. Wu, B. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement / B. Wu [et al.] // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – Vol. 35. – P. 127–139.

3. Yi, H. Porosity in wire-arc directed energy deposition of aluminum: Formation mechanisms, influencing factors and inhibition strategies / H. Yi, L. Yang, L. Jia [et al.] // Additive Manufacturing. – 2024. – Vol. 84. – Art. 104108.

4. Sahoo, S. Investigation of defect formation and nozzle behaviour in WAAM of aluminium alloy under different process parameters / S. Sahoo, S. M. Adinarayanappa, A. Rajendran // Progress in Additive Manufacturing. – 2025. – Vol. 10. – P. 9621–9635.

5. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.

6. Неулыбин, С. Д. Повышение качества поверхности опытного образца, полученного из алюминиевого сплава 4047 электродуговой наплавкой / С. Д. Неулыбин, А. Н. Юрченко // Цветные металлы. – 2026. – № 2. – С. 54–58.

7. Влияние технологических факторов на процессы формирования параметров качества изделий, изготавливаемых WAAM-методом на основе дуговой сварки в защитных газах / Ш. Ли, Ч. Линь, А. В. Киричек [и др.] // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2025. – № 5(167). – С. 3-14.

8. Изготовление заготовок методом WAAM из мартенситной нержавеющей стали / С. И. Анциферов, А. В. Карачевцева, Е. А. Сычев, Н. В. Мартюшев // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, № 3(65). – С. 1676-1687.

УДК 621.928.5

Сёмкин Д.В.
Научный руководитель: Булгаков С.Б., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ В УСТАНОВКЕ ДВУХСТАДИЙНОГО ПОМОЛА

Современные требования к порошковым материалам – дисперсность на уровне микро- и нанометров, химическая чистота, однородность гранулометрического состава – диктуют необходимость совершенствования технологий измельчения. Среди оборудования для тонкого помола особое место занимают струйные мельницы, реализующие принцип самоизмельчения за счёт соударения частиц в высокоскоростных газовых потоках [1]. В зависимости от геометрии рабочей камеры выделяют несколько основных типов подобных мельниц: с плоской горизонтальной камерой, с вертикальной трубчатой камерой, противоточные (с двумя и более встречными струями) и комбинированные [2].

Каждый из этих типов обладает достоинствами и недостатками. Противоточные мельницы обеспечивают высокую чистоту помола и

пригодны для измельчения высокоабразивных материалов, но не всегда достигают предельно малых размеров частиц за один проход. Плоские мельницы дают более тонкий продукт, однако чувствительны к неравномерности питания и могут требовать предварительного подсушивания материала. В этой связи перспективным направлением является создание установок многостадийного помола, где два типа струйных мельниц работают последовательно, дополняя друг друга.

Целью данной научной статьи является обоснование эффективности применения струйной противоточной и струйной плоской мельниц в составе единой технологической линии для тонкого помола.

Сперва необходимо определить основные конструктивные особенности данных типов струйных мельниц, а также их достоинства и недостатки.

Струйная противоточная мельница (рис. 1) содержит помольную камеру *7*, в которой два или более сопла *5* направлены навстречу друг другу. Энергоноситель (сжатый воздух, перегретый пар или инертный газ) разгоняет частицы материала до сверхзвуковых скоростей. Разрушение происходит при лобовом соударении частиц в зоне встречи потоков [1]. Отсутствие механических рабочих органов (шаров, бил, вибраторов) исключает их износ и, как следствие, химическое загрязнение продукта металлической эрозией. Это принципиально важно для фармацевтических субстанций, электронных материалов и высокочистых реактивов.

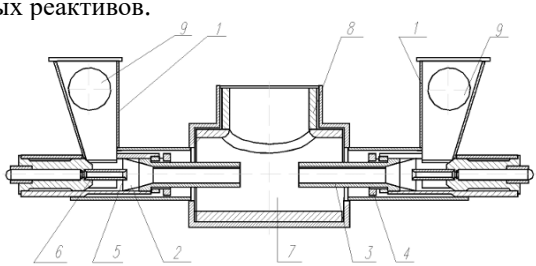


Рис. 1 Струйная противоточная мельница:
1 – бункеры; 2 – эжекторы; 3 – разгонные трубки; 4 – держатели; 5 – сопла; 6 – труба; 7 – помольная камера; 8 – футеровка; 9 – смотровые люки

К достоинствам противоточных мельниц также относят:

- Возможность измельчения термочувствительных материалов за счёт короткого времени пребывания и охлаждающего действия расширяющегося газа;

- Пригодность для измельчения высокоабразивных порошков (карбидов, оксидов);
- Встроенная классификация – динамические или статические сепараторы позволяют отсекать крупную фракцию и возвращать её на доизмельчение.

Однако противоточные мельницы имеют ограничения по достижению среднего размера частиц менее 1-2 мкм за одну стадию. Для выхода в субмикронный и нанометровый диапазон требуется либо многократная рециркуляция измельчаемого материала, либо использование более интенсивных измельчителей.

Струйная плоская мельница (рис. 2) имеет горизонтальную дискообразную камеру *1*, по периферии которой под острым углом к касательной (т.е. тангенциально) расположены сопла *5*. Подаваемый под высоким давлением газ создаёт в камере закрученный вихревой поток. Частицы материала, вводимые через инжектор *4*, увлекаются этим потоком и сталкиваются друг с другом, а также со стенками камеры. В центральной зоне за счёт разницы центробежных сил происходит классификация: крупные частицы отбрасываются к периферии и продолжают измельчаться, тогда как мелкие уносятся через центральный патрубок *8* [2, 3].

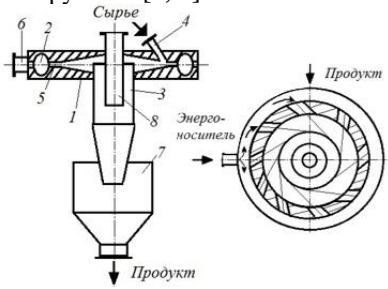


Рис. 2 Струйная плоская мельница:
1 – помольная камера; 2 – кольцевой коллектор; 3 – циклон-сепаратор; 4 – загрузочный патрубок; 5 – сопла; 6 – воздуховоды; 7 – бункер; 8 – труба для отработанного газа

Преимущества плоских струйных мельниц:

- Простота конструкции, отсутствие подвижных частей;
- Возможность получения частиц размером 0,5-5 мкм и ниже;
- Высокая удельная производительность при работе с мягкими и хрупкими материалами.

Недостатками являются повышенный износ стенок камеры при помоле абразивных материалов, а также чувствительность к

неравномерности подачи исходного продукта. Кроме того, для достижения стабильного результата необходима тщательная подготовка сырья по влажности и начальной крупности.

В основе концепции многостадийного помола лежит последовательное измельчение материала в двух или более установках, каждая из которых адаптирована для достижения требуемого фракционного состава. В технологических линиях на базе шаровых и вибрационных мельниц стадии измельчения, как правило, конструктивно обособлены, хотя базируются на едином механизме разрушения. Применение же двухстадийной схемы, с использованием в составе одного помольного комплекса двух разнотипных струйных мельниц, даёт ряд существенных преимуществ:

1. На первой стадии (в противоточной мельнице) решаются задачи грубого и среднего помола, обеспечивая уменьшение размера частиц от сотен микрометров до диапазона 10-50 мкм. Встречные потоки энергоносителя позволяют провести эту операцию за минимальное время, избегая значительного перегрева продукта и сводя к минимуму его химическое загрязнение.

2. Вторая стадия (в плоской мельнице) обеспечивает сверхтонкий помол до 0,5-5 мкм с получением узкого гранулометрического состава. Формируемые закрученные потоки инициируют высокую частоту соударений, что является критическим фактором для достижения субмикронной дисперсности.

Подобный подход уменьшает вероятность переизмельчения материала на первом этапе (следовательно, снижает удельные энергозатраты) и исключает попадание в плоскую мельницу крупных включений, способных повредить футеровку камеры и привести к её забиванию.

Проводимые в БГТУ им. Шухова, СПбНИУ ИТМО и ТПУ изыскания подтверждают, что комбинированные схемы помола, включающие в себя струйные аппараты разного типа, превосходят по эффективности одностадийные [5]. В работах В.С. Богданова, В.И. Хлудеева, С.Б. Булгакова акцентируется, что разделение процесса на этапы даёт возможность оптимизировать газодинамические режимы и удельный расход энергоносителя.

Принятая последовательность операций – сначала струйная противоточная, а затем струйная плоская мельница – имеет как физическое, так и технологическое обоснование.

С физической точки зрения, на начальной стадии преобладают крупные фракции (100–500 мкм), для эффективного разрушения

которых требуются высокие импульсные нагрузки; именно такие условия и создаются встречными потоками в противоточной камере. При этом вероятность образования агломератов мала, поскольку газодинамика направлена на разгон и соударение одиночных частиц. После того как материал измельчён до уровня 10-30 мкм, он становится пригодным для закрученного потока плоской мельницы. Если подать в плоскую мельницу слишком крупные частицы, они будут длительное время циркулировать в периферийной зоне, вызывая повышенный износ стенок и снижая производительность.

С технологической точки зрения, многие противоточные мельницы оснащаются встроенными классификаторами, позволяющими отсечь фракцию, которая уже соответствует требуемой крупности, и направить только недостаточно измельчённый продукт на вторую стадию. Это сокращает нагрузку на плоскую мельницу и снижает общие эксплуатационные расходы.

В промышленной практике уже реализованы подобные схемы, например, в линиях Hosokawa Micron Group (Япония), где противоточная мельница серии AFG работает в связке с плоской мельницей типа Alpine [4]. Аналогичные решения предлагают NETZSCH (Германия) и китайские производители ALPA Powder Technology. Для российской промышленности актуальна разработка собственных установок многостадийного помола на базе серийно выпускаемых противоточных мельниц (например, ООО «Вилитек») и плоских камер, спроектированных с учётом научных заделов БГТУ и ТПУ [5].

Установки многостадийного помола с последовательным включением противоточной и плоской струйных мельниц востребованы в нескольких ключевых отраслях [3,4]:

- Фармацевтическая промышленность. Микронизация субстанций для улучшения биодоступности требует узкой фракции от 1 до 10 мкм. Первая стадия (на противоточной мельнице) удаляет крупные кристаллы, вторая (на плоской) – доводит размер до целевого с минимальным содержанием пылевидной фракции.
- Химическая и электронная промышленность. При производстве пигментов, катализаторов, люминофоров и проводящих паст необходимы частицы с высокоразвитой поверхностью и строго контролируемым распределением по размерам. Многостадийная схема позволяет варьировать режимы для разных типов материалов.
- Минеральная отрасль. При переработке нерудных материалов (тальк, каолин, мрамор) двухстадийный помол даёт возможность

получать наполнители с различной дисперсностью из одного сырья, переключая режим работы второй мельницы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. Изд. 2-ое. – М.: Машиностроение, 1967. – 264 с.

2. Булгаков С.Б., Тимашев М.В., Семкин Д.В., Иващенко И.И. Краткий обзор струйных мельниц: классификация и процесс помола // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 91-94.

3. Market Insights Research: Jet Mill Market Report 2024. – URL: https://www.marketinsightsresearch.com (дата обращения: 18.05.2026).

4. QY Research: Fluidized Bed Opposed Air Jet Mill Market Report. – URL: https://www.qyresearch.com.cn (дата обращения: 18.05.2026).

5. Дмитриенко В.Г., Кравченко Д.С., Бакланова П.М. Анализ развития струйного помола и перспективы внедрения отечественных разработок в различные отрасли народного хозяйства // Машины, агрегаты и технологические процессы в строительной индустрии: Сборник докладов V Национальной конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 3-8.

УДК 628.517

Семыкина О.С., Клемешова Ю.С.
Научный руководитель: Томаровщенко О.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРОБЛЕМА ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ И МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Трансформация условий функционирования региональной энергетической инфраструктуры, обусловленная внешними дестабилизирующими факторами и повреждениями распределительных сетей, проявилась на территории Белгородской области, где непрерывность подачи электроэнергии становится базовым условием обеспечения жизнедеятельности населения и социальной стабильности. Востребованная автономизация энергоснабжения посредством

бензиновых и дизельных генераторов влечет за собой рост акустического загрязнения селитебных территорий.

Физическая природа шума, генерируемого двигателями внутреннего сгорания генераторных установок, определяется совокупностью источников. Первичным фактором шумообразования выступает рабочий цикл поршневого двигателя внутреннего сгания, включающий пульсирующий газодинамический выхлоп отработавших газов, аэродинамическое сопротивление тракта впуска и механический шум кинематических пар кривошипного механизма, сопровождающийся соударениями поршней о стенки цилиндров, работой газораспределительного механизма и зубчатых передач. Дополнительную составляющую вносит система воздушного охлаждения, где высокооборотные вентиляторы создают широкополосный вихревой шум, а также электромагнитное поле генератора, возбуждающее вибрации сердечников статора и ротора под переменной электрической нагрузкой. Результирующий спектр шума мобильных электростанций характеризуется доминированием низкочастотных и среднечастотных составляющих в диапазоне 5-500 Гц, что обусловлено частотой вращения коленчатого вала и количеством рабочих тактов. Данная спектральная специфика представляет наибольшую сложность для локализации, поскольку длинные звуковые волны обладают минимальным затуханием в атмосфере, легко дифрагируют на препятствиях и проникают сквозь ограждающие строительные конструкции посредством возбуждения резонансных колебаний стеновых панелей и остекления.

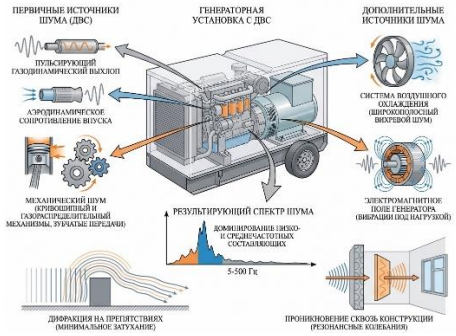


Рис. 1. Шумовое воздействие, возникающее при эксплуатации генератора

Уровни звукового давления, создаваемые бытовыми бензиновыми генераторами малой мощности на расстоянии одного метра от корпуса,

как правило, варьируются в диапазоне 70-95 дБ, тогда как более мощные дизельные электростанции промышленного назначения способны создавать уровни звукового давления, превышающие 100 дБ, притом что интенсивность звука убывает с расстоянием по закону, приближающемуся к обратно пропорциональной зависимости от квадрата расстояния лишь в условиях свободного звукового поля, тогда как в реальной городской и сельской застройке многократные отражения от фасадов зданий, ограждающих конструкций и элементов рельефа местности формируют значительно более сложную и труднопрогнозируемую картину распространения звуковой энергии, вследствие чего фактические уровни шума на территории соседних участков нередко существенно отличаются от расчетных значений, полученных без учета локальных особенностей застройки[1].

Физиологическое воздействие шума на организм человека заключается в изменениях функционального состояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, что выражается в нарушении структуры сна, повышении уровня тревожности, снижении концентрации внимания и работоспособности, а при хронической экспозиции – в повышении риска развития артериальной гипертензии и иных заболеваний, связанных со стрессовой реакцией организма на постоянный раздражающий фактор (шум).

Правовой механизм защиты населения от акустического воздействия в Российской Федерации опирается на многоуровневую систему нормативных актов. Её базисным элементом выступают санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21, которые регламентируют предельно допустимые уровни звукового давления в жилых помещениях, общественных зданиях и на прилегающих селитебных территориях с дифференциацией по времени суток — отдельно для дневных и ночных часов. Федеральные санитарно-гигиенические требования дополняются региональным нормотворчеством в сфере обеспечения покоя граждан. В частности, законодательство Белгородской области устанавливает собственные временные интервалы, на протяжении которых любые действия, генерирующие повышенный шумовой фон, подлежат ограничению либо полному запрету. Подобная нормативная комбинация формирует формально достаточную юрисдикционную основу для привлечения к административной ответственности владельцев шумных автономных энергоустановок. Вместе с тем практическое правоприменение в данной плоскости сталкивается с комплексом существенных коллизий. С процессуально-технической точки зрения процедура фиксации

правонарушения сопряжена с необходимостью проведения инструментальных замеров силами исключительно аккредитованных испытательных лабораторий, что делает оперативное реагирование затруднительным. С другой стороны, возникает социально-правовой конфликт: формальный состав нарушения правил тишины входит в прямое противоречие с институтом крайней необходимости, когда эксплуатация генератора выступает безальтернативным средством жизнеобеспечения в условиях аварийного или вынужденного отключения централизованного электроснабжения.

Правоприменительная практика в отношении данной категории нарушений остается крайне ограниченной[2].

Технические решения, способные снизить акустическую нагрузку от эксплуатации генераторных установок без ущерба для их функционального назначения, развиваются по нескольким направлениям:

1. Применение звукоизолирующих кожухов, снижающих уровень излучаемого шума за счет поглощения и отражения звуковой энергии корпусными панелями с внутренним слоем звукопоглощающего материала, рис. 2.



Рис. 2. Акустические защитные кожухи

2. Размещение генераторного оборудования в специально оборудованных изолированных помещениях.

3. Применение глушителей шума[3].

Обзор российских производителей шумозащитных кожухов для генераторных установок.

ООО «Техэкспо» (Санкт-Петербург) производит дизельные электростанции в шумозащитных кожухах и контейнерах. В конструкции кожухов заявлены критический глушитель с уровнем шумоглушения 45 дБА, шумоизоляционный материал 1 класса, гибкая

выхлопная труба с минеральным уплотнителем и антивибрационные опоры между генераторной установкой и рамой.

Завод «Генмоторс» также осуществляет самостоятельное производство шумозащитных кожухов (капотов) для генераторных установок, ориентируясь на снижение вибрации и шума, а также на устойчивость к неблагоприятным условиям эксплуатации. Нормативный контекст.

Актуальность темы обусловлена повсеместным ростом использования генераторов и мобильных электростанций как в быту, так и на производстве, что создает постоянный шумовой фон в зонах пребывания людей. Длительное воздействие такого шума повышает риск развития сердечно-сосудистых и нервных заболеваний, снижает работоспособность и качество жизни населения. Поэтому разработка и соблюдение эффективных мер защиты от шума при эксплуатации этих устройств является важной санитарно-гигиенической и социальной задачей[4,5].

Таким образом, защита населения от шума при эксплуатации генераторов и мобильных электростанций является актуальной проблемой, требующей комплексного подхода. Эффективность решения достигается сочетанием таких технических мер, как применение звукоизоляционных кожухов, установка глушителей и размещение оборудования в специально оборудованных помещениях. Эти меры должны дополняться организационными решениями (правильный выбор места установки, ограничение времени работы) и соблюдением санитарных норм. Важную роль играет также информирование населения о рисках и правилах безопасной эксплуатации оборудования. В итоге только системный подход, включающий кожухи, глушители и специальные помещения, обеспечит безопасные условия жизнедеятельности при широком использовании автономных источников электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обеспечение безопасности строительных работ в условиях приграничных территорий / А. Ю. Семейкин, О. Н. Томаровщенко, В. А. Петрова, П. Я. Гаврилива // Архитектура. Строительство. Транспорт. Экономика: Материалы LXXVIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С. 117-123.

2. Кирюхин В. А., и др. Активное снижение воздушного шума дизель-генератора // Теплоэнергетика. - 2022. - № 12. - С. 23-30.

3. Гладышев А. А., Асманкин Е. М., Ушаков Ю. А., Тарасова С. В., Белоусова Н. В. Предпосылки развития и техническая специфика методов снижения уровня шума, генерируемого мобильными энергетическими средствами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 2 (94). - С. 175-181.

4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. [Электронный ресурс]. – URL: https://base.garant.ru (дата обращения: 19.09.2025).

5. ГОСТ 31420-2010. Шум машин. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение методом охватывающей поверхности. Стандартинформ, 2012. - 20 с. [Электронный ресурс]. - URL: https://base.garant.ru (дата обращения: 19.09.2025):

УДК 656.07

Сердюк Д.А., Соловьев А.А.
Научный руководитель: Локтионова А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ: ИНТЕГРАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В современных реалиях проблема минимизации аварийности на улично-дорожной сети (УДС) продолжает оставаться одной из ключевых проблем обеспечения безопасности дорожного движения (БДД). Традиционные инструменты регулирования, базирующиеся на административном контроле и статичных инженерных решениях, обладают существенным изъяном: они не способны в полной мере компенсировать психофизиологические ошибки участников движения и адаптироваться к стохастическим изменениям транспортной обстановки. В статье обосновывается необходимость перехода к комплексным интеллектуальным транспортным системам (ИТС).

Данный подход позволяет заблаговременно нейтрализовывать конфликтные точки и снижать тяжесть последствий аварийных ситуаций, сохраняя при этом максимальный уровень пропускной способности городской инфраструктуры.

В мировой практике выделяются две фундаментальные парадигмы построения систем пассивной и активной безопасности на транспорте:

Первая – реактивная модель. Мероприятия по модернизации улично-дорожной сети реализуются после случившейся аварийной ситуации, основываясь на анализе статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и локализации очагов концентрации аварий. К таким мероприятиям относят например: нанесение дополнительной дорожной разметки или установку дорожных знаков, элементов дорожной инфраструктуры, способствующих принудительному снижению скорости движения водителей автотранспорта.

Второй парадигмой является - преактивная стратегия или «Безопасная система». Она заключается в том, что любой участник дорожного движения (водитель, пешеход) может периодически совершать ошибки. В связи с этим дорожная инфраструктура проектируется по принципу прощающей инфраструктуры, в которой допустимы сбои, но факт наличия смертельных ДТП отсутствует [1]. Реализация такого подхода нуждается в применении сложного математического моделирования, особенно при проектировании новых магистралей. Для устоявшейся УДС используются традиционные методы, внедряются адаптивные элементы ИТС [2].

Классические системы адаптивного управления функционируют при помощи локальных детекторов транспорта, которые в реальном времени собирают входные данные. От стабильной работы таких детекторов зависит эффективность работы светофорного объекта на изолированных перекрестках. Однако в условиях плотной городской застройки, где транспортный поток постоянно изменяется, как со стороны пешеходов, так и со стороны общественного транспорта, децентрализованная локальная адаптация теряет свою работоспособность и требует перехода к централизованному управлению.

Для преодоления этих ограничений предлагается внедрение программно-аппаратных комплексов, использующих алгоритмы машинного зрения и нейросетевого анализа видеопотоков с камер наружного наблюдения. Поскольку передача больших массивов видеоданных требует колоссальных пропускных каналов связи, наиболее рациональным решением является архитектура граничных

вычислений (edge computing). Это позволяет осуществлять обработку данных непосредственно на периферийных устройствах, многократно сокращая время отклика системы и обеспечивая ее масштабируемость [3].

Интегральная эффективность современной системы БДД складывается из взаимодействия работы классических технических средств организации дорожного движения (ТС ОДД), надежность которых стремится к единице, и интеллектуальных подсистем (ИПС). Математическая модель общей эффективности может быть выражена следующей формулой [5]:

$$Э = Э_{ТСОДД} \cdot (1-С) + Э_{ИПС} \cdot С, \quad (1)$$

где С – коэффициент насыщенности сети интеллектуальными подсистемами (уровень интеграции) [4].

Имитационное моделирование показало, что максимальный суммарный эффект по снижению тяжести ДТП достигается при охвате адаптивными алгоритмами 20% от протяженности ключевой улично-дорожной сети (УДС) [5].

Для верификации алгоритмов предотвращения аварийных ситуаций разработан специализированный программно-аппаратный стенд, моделирующий взаимодействие транспорта в конфликтных зонах. Он включает подвижную платформу с системой оптического трекинга, модуль видеоаналитики и имитаторы движения (тележки с тросовым приводом). Модуль видеоаналитики объединяет вычислительный узел, оптическую систему, канал телеметрии и электропитание в едином защитном корпусе. Эксперименты проводились с использованием масштабных макетов автомобилей (масса 2 кг) при температуре 20 ºС и скорости движения 1,5 м/с (с искусственной задержкой сигнала 0,6 с). Оценивалась эффективность систем экстренного предупреждения: базовой и с применением нейросетевых алгоритмов распознавания (разрешение модуля – 2 мм) [6].

Лабораторные испытания зафиксировали время реакции интеллектуальной системы в диапазоне 20–45 м/с. Полученные данные подтверждают техническую реализуемость превентивного гашения конфликтных ситуаций средствами ИТС [7].

Для аргументации выбора алгоритма необходимо проведение ряда дополнительных исследований - исследование и анализ стохастических

закономерностей, описывающих взаимодействие различных типов транспортных средств в потоке.

Основное преимущество использования ИТС состоит в том, что они позволяют предотвратить возникновение аварийной ситуации, благодаря чему пропускная способность регулируемого пересечения не снижается. Благодаря комплексному использованию классических средств ОДД и интеллектуальных систем формируется устойчивая транспортная инфраструктура «умного города».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ван, Ж. Анализ методов разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Ж. Ван, В. В. Зырянов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 2-1(85). – С. 106-112. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-106-112.

2. Дмитриев И.И., Кириллов А.М. Умные дороги и интеллектуальная транспортная система // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2025. № 2 (53). DOI: 10.18720/CUBS.53.1.

3. Локтионова, А. Г. Реализация инфраструктурных элементов ИТС в Белгородской области / А. Г. Локтионова, И. А. Новиков // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования : Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, Орёл, 20–21 апреля 2023 года / Редколлегия: Д.Л. Проказин [и др.]. – Орёл: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2023. – С. 250-256.

4. Солодкий, А. И. Интеллектуальные транспортные системы - основа цифровой трансформации автомобильно-дорожного комплекса / А. И. Солодкий, С. С. Евтюков, Н. В. Селезнева // Транспортное дело России. – 2026. – № 2. – С. 126-127.

5. Турищева А. А. О создании безопасной транспортной системы в Европейском союзе // Криминологический журнал. 2024. № 4. С. 183–191. https://doi.org/10.24412/2687-0185-2024-4-183-191

6. Локтионова, А. Г. Пути повышения эффективности управления городскими транспортными потоками / А. Г. Локтионова, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород-Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. – 173 с. – ISBN 978-5-361-01415-6.

7. Топский, А. А. Анализ функционирования традиционной интеллектуальной транспортной системы / А. А. Топский, К. А. Бычкова, А. Г. Локтионова // Science and innovation : Сборник научных трудов по материалам XXIII International scientific conference, Анапа, 29 ноября 2024 года. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2024. – С. 27-31.

УДК 69.059.2

[1]Серых В.Д., [1]Панченко А.В.
Научный руководитель: [2]Серых И.Р., канд. техн. наук, доц.
[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
[2]Белгородский государственный технологический университете им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБСЛЕДОВАНИЕ БАЛКОННОЙ ПЛИТЫ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Наличие балкона в квартире – это всегда достаточно приятный бонус для собственника жилого помещений, поскольку данный конструктивный элемент выполняет сразу несколько функций: удобная зона отдыха; место для сушки белья; дополнительное место хранения. И, конечно, не малых огорчений приносит разрушение балконов, поскольку собственник лишается возможности им пользоваться [1-3].

Рассмотрим разрушение одной из балконных плит многоквартирного жилого пятиэтажного кирпичного здания 1961 года постройки, расположенного в г. Белгороде по ул. Попова, 54.

Обследуемая балконная плита работает как консольная балка и имеет следующие размеры в плане: длина 2600 мм, ширина 800 мм, толщина 160 мм. Армирована в растянутой зоне арматурой А3 Ø 10 шагом 150 мм, в сжатой зоне – А3 Ø 6 шагом 150 мм (рис.1).

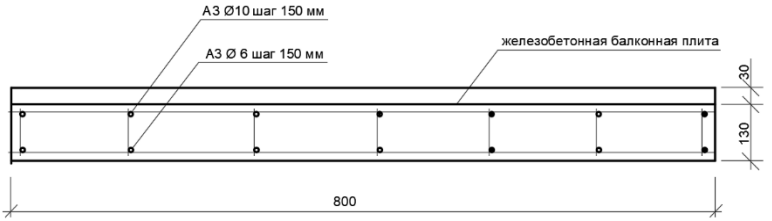


Рис.1 Схема балконной плиты

При обследовании балконной плиты со стороны сжатого волокна (снизу) были выявлены: потеря целостности конструкции; образование сквозного отверстия площадью около 0,09м^2 с разрывом арматуры; следы сколов и значительного разрушения бетона по всей площади конструкции; отслоение и осыпание защитного слоя бетона; оголение и коррозия арматуры; нарушения сцепления арматуры с бетоном; образование трещин с шириной раскрытия более 3 мм; отсутствие отлива; корродированные металлического ограждения у основания (рис. 2).



Рис. 2. Повреждение балконной плиты

Обследование балконной плиты со стороны растянутого волокна (сверху) показало выкрашивание бетона из тела плиты по всему периметру (рис. 2).

В процессе обследования балконной плиты выполнялся контроль прочности бетона методом упругого отскока с помощью склерометра ОНИКС-2.5, который показал, что фактический класс бетона по прочности на сжатие В15.

Исходя из расположения, величины и внешнего вида, установленных визуальным осмотром и инструментальным исследованием дефектов балконной плиты можно утверждать, что:

– техническое состояние конструкции является аварийным согласно СП 454.1325800.2019 [4];

– физический износ балконной плиты согласно ВСН 53-86(р) [5] составляет 84%;

– технического состояния балконной плиты согласно ГОСТ 31937-2024 [6] является аварийным.

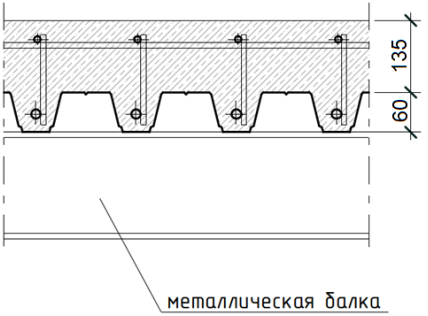


Рис. 3. Рекомендуемый вариант усиления балконной плиты

Наиболее вероятной причиной появления отмеченных дефектов балконных плит могут быть: последствия воздействия атмосферных осадков, сезонный перепад температур, нарушения условий эксплуатации конструкции, отсутствия карниза и носят необратимый прогрессирующий характер. Дальнейшая эксплуатация этой плиты не возможна. Требуется немедленная разгрузка конструкции и ее усиление. Рекомендуемый вариант усиления представлен на рис. 3: устройство монолитного перекрытия с несъемной опалубкой из профилированного листа Н60-845-0,8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых И.Р., Чернышева Е.В, Дегтярь А.Н., Масягина Н.И., Серых В.Д. Причины повреждений балконных плит жилых домов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №2. С. 16–23.

2. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В., Алиматов Б.А. Направление развития теории живучести строительных конструкций при внезапных запроектных воздействиях // Научно-технический журнал ФерПИ, Узбекистан, 2022. Т. 5. № 2. С. 21-27.

3. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. № 10. С. 94-97.

4. СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния». 2019.

5. ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий». 1986.

6. ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». 2024.

УДК 69.059

[1]Серых В.Д., [2]Гребеник А.А.
Научный руководитель: [2]Серых И.Р., канд. техн. наук, доц.
[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
[2]Белгородский государственный технологический университете им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

Установка дополнительного оборудования, незапланированного при проектировании здания в наши дни не редкость. Чтобы избежать при эксплуатации объекта, подвергшегося технологическому обновлению, потери несущей способности необходимо проводить дополнительное обследование [1-3]. В этом случае после визуального осмотра и изучения проектной документации, следует зафиксировать фактические геометрические размеры конструкций, уточнить расчетную схему, выполнить поверочный расчет с учетом новых нагрузок и сравнить с предельным значением [4-6].

Объектом обследования стали основные несущие конструкции производственного корпуса, расположенного в Лямбирском районе республики Мордовия (рис. 1).

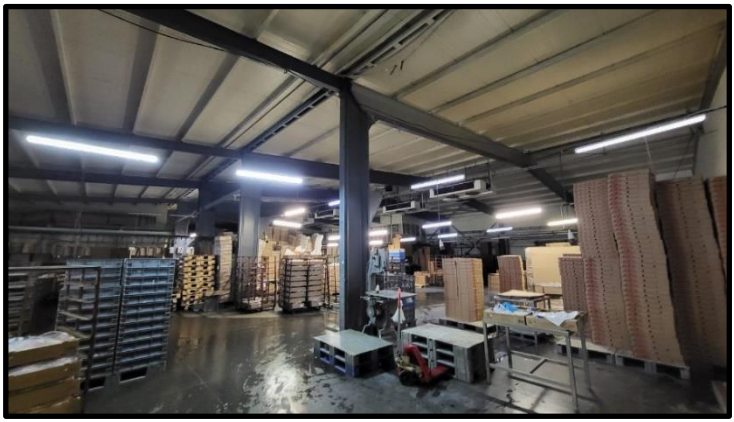


Рис. 1. Общий вид производственного корпуса

Производственный корпус был введен в эксплуатацию в 1999 г. Несущие конструкции корпуса выполнены из металла и представляют собой рамы с шагом 6 м. Ригель и стойка рамы имеют сложное составное сечение в виде полого двутавра высотой сечения 750 мм, шириной полки 160 мм. Высота стоек рамы h = 5м, высота рамы в коньке составляет h = 6м. Уклон составляет α = 5◦. Пролет рамы ℓ = 24 м.

В состав кровельного покрытия входят: сэндвич-панель толщиной 120 мм с облицовкой t=0,6 мм.; профлист Н40 оцинкованный; прогоны швеллерного поперечного сечения № 16 с шагом 1,5 м. Вдоль конька кровли подвешено вентиляционное оборудование.

Согласно технического задания требуется рассмотреть возможность прокладки дополнительного технологического трубопровода. При этом часть трубопровода по замыслу заказчика должна проходить вдоль конька по конструкции кровли.

При визуально-измерительном обследовании прогонов было выявлено: деформация прогонов на участке по коньку кровли составляет до 3 см, что согласно эстетико-психологическим требованиям является максимально допустимым значением табл. Д.1 [7]. Возможной причиной возникновения деформации прогонов является установленное вдоль конька кровли вентиляционное оборудование и большие снеговые нагрузки.

В процессе обследования был произведен замер высоты снегового покрова, который составил в среднем 50-60 см. Плотность снега зависит от его свежести: свежевыпавший снег имеет плотность около 50-100

кг/м³, слежавшийся (несколько дней) – 150-200 кг/м³, мокрый снег или снег с наледью может весить 300-400 кг/м³. Если на крыше будет лежать слежавшийся снег высотой 60 см и плотностью 250 кг/м^3, то нагрузка на кровлю составит 150 кг/м^3 (250 кг/м^3×0,6 м), а это уже очень близко к расчетной 160 кг/м^3 (согласно табл. К.1 [7] вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли IV снегового района составляет $S_g = 160$ кг/м^3).

В рамках обследования был произведен поверочный расчет несущих конструкций с учетом веса нового технологического трубопровода, уточненной снеговой нагрузки и веса вентиляционного оборудования, который показал, что прочность конструкций достаточна, исключая участок кровли в коньке. Здесь несущая способность конструкций близка к предельной и практически не имеет запаса прочности. Кроме того, на данном участке не выполняется условие жесткости.

В результате проведенного технического обследования несущих строительных конструкций производственного корпуса было установлено:

1. Техническое состояние несущих конструкций производственного корпуса находится в работоспособном состоянии.

2. Эксплуатирующей организации предусмотреть мероприятия по очистке кровли от снега в период обильного снегопада, поскольку уклон кровли (5%) не предусматривает самопроизвольный сход снега.

3. Прокладка трубопровода вдоль конька кровли не рекомендуется, поскольку выявленные на данном участке деформации прогонов достигли максимально допустимого значения 3 см. Дополнительная нагрузка приведет к увеличению прогиба и потребует усиления конструкции кровли.

4. Рекомендуется сместить линию прокладки трубопровода относительно конька кровли.

5. Рекомендуется ежегодный мониторинг деформаций прогонов по коньку кровли с целью предотвращения появления дефектов и повреждений в дальнейшем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых И.Р., Чернышева Е.В. Промышленная безопасность при техническом перевооружении опасного производственного объекта на примере литейного цеха // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 35–41.

2. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Assessment load capacity in floor constructions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. The International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development» (CATPID-2019). Vol. 698, Iss. 2. 2019. С. 022001.

3. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. № 10. С. 94-97.

4. СТО 9701105632-003-2021 Инструкция по визуальному и измерительному контролю. 2021.

5. Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В., Белый Г.И., Енджиевский Л.В., Крылов И.И., Ольков Я.И., Сабуров В.Ф. Металлические конструкции. Учеб. для строит. вузов. 3е изд., стер. М.: Высшая школа, 2004. 551 с.

6. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. 2017.

7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. 2016.

УДК 69.04

[1]Серых В.Д., [2]Дегтярь Д.А.
Научный руководитель: [3]Серых И.Р., канд. техн. наук, доц.
[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия
[2]Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия
[3]Белгородский государственный технологический университете им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ФОРМУЛЫ ЭЙЛЕРА И ЯСИНСКОГО

Известные всему инженерному миру формулы Эйлера и Ясинского служат для определения критических напряжений в расчетах на устойчивость [1-5]. Эти два выдающиеся ученые, именами которых названы известные формулы, творили в разных веках, но все равно работали над одной проблемой.

Швейцарский математик Леонард Эйлер родился 15 апреля 1707 года и представил свою формулу миру в 1744 году [6]. Когда ученый анализировал дифференциальное уравнение упругой линии, то пришел к выводу: в тот самый момент, когда стержень теряет устойчивость, он переходит в безразличное состояние равновесия, которое Эйлер назвал

критическим, а нагрузку, соответствующую этому состоянию – критической силой:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{min}}{(\mu \ell)^2}. \quad (1)$$

Однако у данной формулы есть свои пределы применимости:

1. Гибкость стержня должна быть больше предельной $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$;
2. Напряжения в сжатом стержне не должны превышать предела пропорциональности σ_{pr}, то есть пока стержень работает в так называемой упругой стадии.

Русский ученый Феликс Ясинский, родился 15 сентября 1856 года в Варшаве и по праву считается основателем научной школы по строительной механике. Мировую известность в области строительной механики он получил после того, как представил в 1894 году свой труд по изучению стержней, работающих в условиях продольного изгиба.

Если говорить о самой формуле, то в ее состав входят два коэффициента (a и b), которые были определены опытным путем и зависят от материала стержня. Зная гибкость стержня λ, можно определить критические напряжения, возникающие в стержне:

$$\sigma_{cr} = a - b\lambda. \quad (2)$$

Эта формула также имеет свои пределы применимости:

1. Гибкость стержня должна быть меньше предельной $\lambda < \lambda_{\text{пред}}$;
2. Напряжения в сжатом стержне должны быть выше предела пропорциональности $\sigma_{cr} > \sigma_{pr}$, но не превышать предела текучести σ_{y}.

Построим график критических напряжений для стали марки Ст3. Минимальная гибкость этого материала равна 40, предельная гибкость составляет:

$$\lambda_{\text{пред}} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}} = \sqrt{\frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^4}} \approx 100.$$

Тогда полный график критических напряжений будет иметь следующий вид (рис. 1):

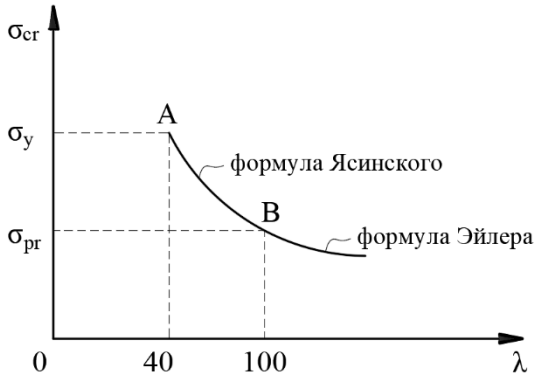


Рис. 1. Полный график критических напряжений для стали марки Ст3

Анализируя построенный график, можно сделать следующие выводы:

1. Между точками *A* и *B* будет работать формула Ясинского, поскольку на этом участке напряжения находятся в пределах предела пропорциональности и предела текучести, а гибкость стержня не превышает предельно допустимое значение 100.

2. Ниже точки *B* уже начинает работать формула Эйлера, поскольку здесь напряжения находятся ниже предела пропорциональности, а гибкость стержне становится больше предельной.

3. Если гибкость стержня не будет превышать значение 40, то стержень вполне можно рассчитывать на прочность как при простом сжатии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зуев В.В., Скляров С.Е., Зуев Д.А. Оценка устойчивости сжатых стержней // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2024. № 1 (48). С. 50-55.

2. Эргешов Э.С., Абдуллаев У.Д. Исследование потери устойчивости сжатых стержней за пределом упругости // Известия Ошского технологического университета. 2018. № 3. С. 150-154.

3. Двужилов А.С., Садыкова Е.Д. Устойчивость сжатых стержней / Теоретические исследования и экспериментальные разработки

студентов и аспирантов: матер. Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Тверь, 2025. С. 149-154.

4. Грудев И.Д. Потеря устойчивости – исчерпание несущей способности продольно сжатых стержней // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 5. С. 9-11.

5. Юрьев А.Г., Зинькова В.А. Устойчивость стержней в структурном синтезе металлических ферм // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 84-87.

6. Литвинова Е.Ф. Леонард Эйлер. Его жизнь и научная деятельность. 2026. 42 с.

УДК 691.555

Скороходова М.Р.
Научный руководитель: Строкова В.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЛЕГКИЕ ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК КОМПОНЕНТ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ШТУКАТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Обеспечение требуемой огнестойкости несущих конструкций является одним из важнейших направлений пожарной безопасности зданий и сооружений. Особое место в современном строительстве занимают металлические конструкции, прежде всего стальные [1]. Сталь обладает высокими прочностными характеристиками при нормальных условиях эксплуатации, технологичностью и широко применяется при возведении конструктивных элементов. Вместе с тем одним из существенных недостатков стали в условиях пожара является ее сравнительно высокая теплопроводность и быстрое снижение механических свойств при нагревании.

В большинстве практических случаев применение стальных конструкций без специальных средств огнезащиты не позволяет обеспечить требуемые показатели огнестойкости. Одним из наиболее распространенных способов решения данной задачи является применение огнезащитных покрытий [2]. Их основное назначение заключается в создании дополнительного барьера между тепловым воздействием пожара и защищаемой конструкцией. Традиционным материалом для защиты металлических конструкций является цементно-песчаная штукатурка. Данный вид покрытия изготавливается на основе цементного вяжущего и песчаного заполнителя, отличается

относительной технологической простотой и может наноситься как ручным, так и механизированным способом.

Защитные свойства цементно-песчаной штукатурки определяются прежде всего толщиной сформированного слоя и его теплофизическими характеристиками. Вместе с тем значительная толщина традиционной цементно-песчаной штукатурки сопровождается увеличением массы огнезащитной системы и дополнительной нагрузкой на строительные конструкции [3]. В связи с этим актуальной задачей является разработка облегченных огнезащитных составов, способных обеспечивать высокую эффективность при меньшей плотности и массе покрытия. Одним из решений данной задачи является применение легких пористых материалов. Формирование в штукатурном слое развитой пористой структуры позволяет уменьшить среднюю плотность композиции и ограничить интенсивность передачи тепла через защитный материал.

Легкие пористые материалы представляют собой перспективную группу компонентов для создания теплоизоляционных и огнезащитных штукатурных композиций. Их характерной особенностью является наличие развитой системы пор, заполненных газовой фазой, а также сравнительно небольшая средняя плотность. Из-за особенностей внутреннего строения эти материалы проводят тепло хуже, чем плотные минеральные заполнители.

Сейчас для облегчённых огнезащитных покрытий берут вспученный перлит [4] и вермикулит, минеральные волокнистые материалы, пористые стекольные заполнители, микросферы и другие подходящие компоненты. В некоторых специальных огнезащитных составах используются ещё асбестсодержащие и фосфатные компоненты. Какой именно наполнитель выбрать, зависит от того, для чего нужно покрытие, в каких условиях оно будет работать и какие требования предъявляют к плотности, прочности и пожарно-техническим характеристикам готового материала.

Особый интерес в этом направлении вызывает вспученный перлит. Когда природное сырье проходит специальную термическую обработку, у него появляется развитая пористая структура, и объем заметно увеличивается. В итоге получается материал с небольшой плотностью и низкой теплопроводностью, так что его вполне можно использовать как легкий минеральный заполнитель. Если добавить вспученный перлит в штукатурную композицию, средняя плотность затвердевшего покрытия может снизиться, а его теплоизоляционные свойства – вырасти.

Не менее важным компонентом является и вспученный вермикулит. Его структура после термической обработки приобретает выраженный слоисто-пористый характер. Использование вермикулита в составе штукатурных смесей позволяет формировать облегченный защитный слой, препятствующий интенсивному поступлению тепла к металлической конструкции.

Также в качестве легких пористых компонентов используют стекольные материалы, включая отдельные виды пеностекла Введение их в состав вяжущего позволяет уменьшить коэфициент теплопроводности. Однако эффективность такого наполнителя зависит от гранулометрического состава, особенностей распределения частиц в вяжущей матрице и прочности самого пористого заполнителя.

Применение пористых наполнителей позволяет разрабатывать штукатурные покрытия, сочетающие сравнительно небольшую массу и необходимые огнезащитные свойства. В зависимости от конструктивного решения, толщины нанесенного слоя и состава применяемой системы штукатурные покрытия способны обеспечивать различную продолжительность защиты металлоконструкций [5]. При помощи таких защитных покрытий время сдерживания огненной стихиии увеличивается ориентировочно в диапазоне от 0,75 до 2,5 ч и более, что позволяет дольше сохранять несущую способность металлических и стальных конструкций. При этом при нанесении штукатурного покрытия необходимо учитывать соответствующие сертифицированные решения и соблюдать требуемую толщину.

Стоить учесть, что уменьшение плотности штукатурки не должно рассматриваться как единственный критерий повышения ее эффективности. Чрезмерное количество пористого наполнителя может привести к снижению показателей прочности покрытия. Материал должен сохранять целостность при нанесении, твердении и последующем температурном воздействии, поэтому неоходимо добавлять армирующие волокнистые компоненты. Так например [6], использование фиброволокон поспособствует уменьшению образованию трещин. Это особенно важно для штукатурных покрытий, подвергающихся воздействию высоких температур и значительных температурных перепадов.

В заключение хотелось бы отметить, что при разработке огнезащитных покрытий для металлических конструкций эффективно использование легких пористых материалов, в том числе вспученного перлита, вермикулита и других минеральных заполнителей. Это послужит снижению плотности и теплопроводности штукатурного

покрытия. Формирование пористой структуры способствует уменьшению интенсивности теплопередачи и замедлению прогрева защищаемой стальной конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пчельников, А. В. Состояние и пути совершенствования нормативно-технической базы России по защите строительных металлических конструкций лакокрасочными материалами / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. В. Строкова // Строительные материалы. – 2025. – № 5. – С. 43-51.

2. Скороходова, М. Р. Исследование эффективности современных огнезащитных материалов / М. Р. Скороходова // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 171-174.

3. Логанина В. И. Влияние известковоперлитовых штукатурных покрытий на влажностный режим ограждающих конструкций / В. И. Логанина, А. Д. Рыжов // Архитектура, строительство, транспорт. – 2025. – Т. 5, № 3(113). – С. 26-33.

4. Строкова В.В. Вспученный перлитовый песок как эффективная добавка к вяжущему / В. В. Строкова, В. В. Нелюбова, Н. О. Хмара, А.И. Буковцова, Ю.В. Денисова // Строительные материалы. – 2022. – № 6. – С. 61-66.

5. Орлов А.С. Исследование структуры и свойств металлоконструкций старинных зданий / Орлов А.С., Рубцова Е.Г., Щеглов А.С., Ожерельев И.В. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2020. № 8 (740). С. 33–42.

6. Бабаев В. Б. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе / В. Б. Бабаев, В. В. Строкова, В. В. Нелюбова, Н. Л. Савгир // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 2. – С. 63-66.

УДК 744

Сураева А.К., Казьмина В.В.
Научный руководитель: Ткаченко В.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

С незапамятных времён графический способ передачи информации является одним из самых популярных и распространённых на нашей планете. Это обусловлено его простотой и понятностью на интуитивном уровне.

Самыми популярными представителями графического способа передачи информации являются чертежи, схемы, графики и диаграммы. Чертежи обеспечивают максимальную точность и наглядность в отличие от текстового описания. Именно поэтому они были выбраны на роль главного способа передачи информации ещё с древних времён. Если рассматривать через призму времени, то можно чётко отследить их эволюцию, особенно при сравнении древнейших их представителей и современных.

Самые древние прообразы чертежей были найдены на Аравийском полуострове и датируются концом эпохи неолита, около 8-9 тысяч лет назад [4]. Близ места расположения старинных охотничьих ловушек нашли выгравированные на скалах рисунки в виде длинных коридоров и звёзд, которые напоминали примитивные планы местности. Также учёные отмечают поразительное сходство, точность и соответствие масштабу. Эта находка позволяет судить о зарождении графической науки ещё в то время, но при этом она пока что была лишь способом передачи визуального размера какого-либо объекта на местности.

Если же переместиться уже на несколько тысячелетий вперёд, то можно проследить, что бóльшая часть чертежей создавалась в Месопотамии, и при этом они несли в себе не только функцию визуализации объектов на местности, но и являлись средством ориентирования на ней. Так, до наших времён дошла керамическая карта города-государства Ниппур — культового центра бога Энлиля в Южной Месопотамии, датируемая 1500-1200 гг. до н.э.. Фрагмент глиняной таблички схематично, но графически точно отражает главные части города Ниппур. На нём можно различить городские стены, парки, каналы и их названия.

Такие месопотамские чертежи, в основном выполнялись на глиняных табличках, а пояснения на них выцарапывались с помощью стилусов, то есть развивалась не только графическая наука, но и инструменты, необходимые для её развития.

Позже графическую науку начали развивать ещё более активно. Так, в Древнем Египте активно совершенствовались старые и создавались новые приспособления для создания чертежей и землемерные инструменты: нивелирование с помощью воды, измерительный шест и отвес. Архитекторы того времени уже использовали пропорциональные измерения, наиболее известное из них «золотое сечение», позволявшее создавать визуально гармоничные и сбалансированные композиции [4].

Одним из самых занимательных чертежей, дошедших до нашего времени, является план гробницы Рамсеса IV на папирусе, хранящемся в Турине. Его создали ориентировочно в 1151–1145 гг. до н.э.. Этот план является уникальным древнеегипетским документом, отличающимся высокой точностью, соблюдением масштаба и детализацией.

В отличие от схематичных предшественников, чертёж уже содержит чёткие архитектурные размеры, обозначения коридоров, камер и самого саркофага, а также подписи, называющие разные части гробницы, а также их размеры в локтях, ладонях и пальцах, что указывает на использование этого плана в качестве рабочего проекта.

Древнеегипетские чертежи сооружений того времени отличались высокой точностью, использованием масштабной сетки, а также привязкой к священным астрономическим ориентирам. Они выполнялись преимущественно на папирусе с помощью чернил из сажи и красного песка, реже наносились на известняковые и глиняные плиты, керамические черепки. В этот период времени мы можем заметить, что графические изображения начали приобретать черты, знакомые нам, они теперь стали не просто визуальным отображением объектов на бумаге, а целым ориентиром, в котором было отражено не только расположение на местности, но и размеры сооружения.

Более обширное развитие чертежи получили уже в Древней Греции. В этот период (VI–IV вв. до н.э.) они отличались строгими математическими расчетами, симметрией и использованием ордерного стиля, ориентировались также на гармонию и пропорции, часто с применением правила «золотого сечения». Для создания таким планов использовали уже более качественный папирус или пергамент, реже встречаются заметки на известняковых плитах. По сравнению с предшественниками греки полностью перешли к утонченности и

математически выверенной системе. На этом этапе чертежи получили расширенную математическую базу, что позволило создавать их ещё более точными.

Самым важным периодом в становлении и развитии чертежей бесспорно стал период эпохи Возрождения, охватившей приблизительно XIV — начало XVII веков. В это время окончательно закрепляются точные инженерные методы расчётов на основе перспективы, симметрии и пропорциональности. При создании чертежей в эту эпоху полностью ушли от эмпирических методов. Архитекторы стали применять ортогональную проекцию (планы, фасады, разрезы), то есть в этот период чертежи максимально приблизились к своему современному виду.

Особое влияние на развитие этой сферы оказал Леон Баттиста Альберти – итальянский архитектор, который и предложил использовать ортогональное проецирование из-за чего чертежи приобрели различные виды (фасад, торцы и др.) и разрезы [2].

Именно благодаря работе Л. Б. Альберти и других деятелей эпохи Возрождения чертежи приобрели вид, максимально приближенный к современному и хорошо знакомому нам, а также они стали необходимостью для точного строительства зданий и сооружений.

И после, в 1799 году, произошёл переворот в теории черчения. В этот период французский инженер Гаспар Монж опубликовал свой труд «Начертательная геометрия». В нём Г. Монж создал геометрическую модель реального пространства на бумаге, согласно которой каждой точке трёхмерного пространства соответствуют две её ортогональные проекции на взаимно перпендикулярные плоскости [4].

Многие термины начертательной геометрии (вертикаль, горизонталь) введены именно этим инженером и активно используются до сих пор. Именно Гаспар Монж придал всему объёму теории по начертательной геометрии научный облик, что позволило другим инженерам активно его развивать, а также продолжить его систематизацию.

И уже в первой половине XX века черчение достигло вершины своего развития как наука. Чертежи создавались с помощью огромного количества инструментов: рейсшин, угольников, циркулей, лекал, рейсфедеров и т.п. Несмотря на то, что качество чертежей во многом зависело от качества инструментов и мастерства человека, они в тот период стали не просто документом, а произведением графического искусства.

Во второй половине XX века человечество узнало о компьютерной графике, но широкое распространение в крупных проектах она получила только в 70-х годах XX века. В эти годы благодаря стремительному развитию компьютерной техники и технологий, компьютеры стали более доступны, и они же заменили людям столь привычные им инструменты для черчения из-за чего графическая наука вышла на новый уровень [1].

Так, в 1982 году появляется прикладная программа AutoCAD, ставшая настоящим прорывом, она предоставила инженерам мощный инструментальный набор для создания точных и масштабных чертежей с помощью одного лишь компьютера. После эта технология продолжила развиваться, у программы появились достойные аналоги: КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor и др. – которые позволили расширить сферу применения компьютерных чертежей: теперь они активно применяются не только в картографии и планах зданий и сооружений, но и в других отраслях таких, как биоинженерия (моделирование схем протезов, искусственных тканей), микроэлектроника и дизайн [3].

Эволюция чертежей от самых простых и схематичных до сложных и детальных компьютерных отражает неразрывную связь черчения и развития человечества. Каждая из ступенек такого «совершенствования» является ответом на постоянно усложняющиеся инженерные задачи.

Чертежи активно развивали и использовали на протяжении долгих тысячелетий. Из истории их развития мы можем видеть, как они менялись и какую важную роль стали играть. Поначалу они были лишь средством ориентирования на местности, позже стали подспорьем для строительства сложных объектов, но уже сейчас они получили широкое распространение во многих сферах человеческой деятельности, являясь при этом важным носителем информации.

Именно поэтому понимание истории развития чертежей позволяет нам проследить закономерности и особенности различных периодов их развития, что даёт возможность понять логику их построения, а значит научиться «читать» и понимать их даже при незнании особых обозначений каждого из них [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артюхов, А.И., Павлова А.А. Гармония языка традиционной ручной графики с приемами новых электронных технологий // Преподаватель XXI в. — 2012. — № 3(1). — С. 130-133.
2. Наук, П. Е. Начертательная геометрия : учебное пособие / Наук П.Е., Богданова А.Н., Еожемяко А.И. — Тюмень : ТИУ, 2009. — 128 с.
3. Господенко, А. П. Компьютерная графика в быту / А. П. Господенко // Молодой исследователь Дона. — 2021. — № 6 (33). — С. 25-32.
4. Горохов, В. Г. Технические науки: история и теория (история науки с философской точки зрения): монография / В. Г. Горохов. — Москва: Логос, 2020. — 512 с.
5. Вовженяк, П.Ю., Ярмош Т.С. Интерпретация как метод исследования в архитектурном проектировании // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2024. — № 8. — С. 66–75.

УДК 621.32:628.981

Тарарыв И.В., Крылов И.А.
Научный руководитель: Ханзаров А.С., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРЕИМУЩЕСТВА СВЕТОДИОИДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Светодиодное освещение в последние годы стало одним из наиболее динамично развивающихся направлений светотехники. Светодиоды, или LED, всё шире применяются в бытовых, промышленных, уличных и архитектурных осветительных установках. Их распространение связано не только с модой на энергосберегающие технологии, но и с объективными техническими, эксплуатационными и экономическими преимуществами. В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию и ужесточения требований к экологичности вопросы выбора эффективных источников света приобретают особую актуальность [1]. Целью настоящей работы является систематизация основных преимуществ светодиодного освещения и оценка его эффективности по сравнению с традиционными источниками света.

Светодиод представляет собой полупроводниковый прибор, который излучает свет при протекании через него электрического тока.

В отличие от ламп накаливания, где свет возникает в результате нагрева нити, и люминесцентных ламп, где используется газовый разряд и люминофор, в светодиоде электрическая энергия преобразуется в световую непосредственно в полупроводниковом переходе. Это принципиально снижает потери на нагрев и позволяет достигать высокой световой отдачи.

Современные светодиодные лампы и светильники выпускаются в широком диапазоне мощностей, цветовых температур и форм. Они могут использоваться как для общего, так и для местного, декоративного, аварийного и технологического освещения. Благодаря малым габаритам и гибкости конструкции светодиоды легко встраиваются в современные осветительные приборы и системы автоматизации.

Главным техническим преимуществом светодиодов является высокая светоотдача. Если лампа накаливания обеспечивает примерно 10–15 лм/Вт, а люминесцентная лампа — 50–70 лм/Вт, то современные светодиодные источники достигают 90–140 лм/Вт и более. Это означает, что для создания одинакового светового потока требуется значительно меньшая электрическая мощность.

Второе важное преимущество — низкое энергопотребление. При сопоставимом световом потоке светодиодная лампа потребляет в 6–10 раз меньше электроэнергии, чем лампа накаливания, и в 1,5–2 раза меньше, чем люминесцентная. Это непосредственно снижает расходы на освещение и уменьшает нагрузку на электрические сети.

Третье преимущество — большой срок службы. Для качественных светодиодных ламп он составляет 25 000–50 000 ч, а в отдельных случаях достигает 100 000 ч. Для сравнения: срок службы лампы накаливания обычно не превышает 1000 ч, а люминесцентной — 8000–15 000 ч. Увеличение срока службы снижает частоту замен, затраты на обслуживание и количество отходов.

Светодиоды устойчивы к частым включениям и выключениям. В отличие от люминесцентных ламп, они не требуют времени на разогрев и практически мгновенно выходят на номинальный световой поток. Это особенно важно для систем освещения с датчиками движения, таймерами и автоматическим управлением.

Кроме того, светодиодные источники обладают механической прочностью: в них нет хрупкой стеклянной колбы и тонкой нити накала. Они лучше переносят вибрации, удары и перепады температуры. Современные модели выпускаются с различными цветовыми

температурами — от тёплого до холодного белого света, а также с возможностью изменения спектра и яркости.

К техническим преимуществам можно отнести и возможность диммирования. Светодиодные светильники легко регулируются по яркости, что позволяет создавать комфортные сценарии освещения и дополнительно экономить электроэнергию. Они хорошо интегрируются в системы «умный дом», управляются по радиоканалу, Wi-Fi, DALI, 0–10 В и другим интерфейсам.

Светодиодное освещение обладает заметными экологическими преимуществами. В светодиодных лампах отсутствует ртуть, которая содержится в люминесцентных лампах и требует специальной утилизации [2]. Это снижает риск загрязнения окружающей среды при повреждении или неправильном обращении с лампами. Уменьшение потребления электроэнергии, в свою очередь, снижает выбросы углекислого газа и других вредных веществ, образующихся при производстве электроэнергии.

Благодаря длительному сроку службы светодиоды образуют меньше отходов. Их применение позволяет сократить частоту замен ламп и, соответственно, объём отработанных источников света. В ряде случаев светодиодные светильники могут работать от низковольтных источников питания, например, 12 или 24 В, что повышает электробезопасность, особенно во влажных и опасных помещениях [3].

Светодиоды менее чувствительны к низким температурам. Они сохраняют работоспособность и высокую светоотдачу при отрицательных температурах, что делает их удобными для уличного, дорожного и промышленного освещения. Люминесцентные лампы при низких температурах, напротив, могут терять яркость и хуже запускаться.

Несмотря на более высокую начальную стоимость, светодиодные лампы и светильники часто оказываются выгоднее при оценке совокупной стоимости владения. Экономия складывается из двух основных составляющих: снижения потребления электроэнергии и уменьшения затрат на замену ламп.

Годовая экономия электроэнергии при замене традиционных ламп на светодиодные может быть рассчитана по формуле (1).

$$\Delta W = (P_1 - P_2) \cdot T \cdot \frac{N}{1000} \quad (1)$$

где ΔW — годовая экономия электроэнергии, кВт·ч; P1 — мощность заменяемой лампы, Вт; P2 — мощность светодиодной лампы, Вт; T — время работы одной лампы в год, ч; N — число ламп, шт.

Например, при замене десяти ламп накаливания мощностью 60 Вт на светодиодные лампы мощностью 8 Вт при времени работы 2000 ч в год экономия составит: ΔW = (60 – 8) · 2000 · 10 / 1000 = 1040 кВт·ч.

При тарифе 5 руб./кВт·ч годовая экономия составит 5200 руб. Если стоимость одной светодиодной лампы принять равной 300 руб., то затраты на десять ламп составят 3000 руб. Срок окупаемости можно оценить по формуле

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{led}}{\Delta W \cdot C_{\text{э}}} \tag{2}$$

где $T_{\text{ок}}$ — срок окупаемости, лет; C_{led} — стоимость светодиодных ламп, руб.; $C_{\text{э}}$ — тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

В рассматриваемом примере $T_{\text{ок}}$ = 3000 / (1040 · 5) ≈ 0,58 года. Таким образом, дополнительные затраты на покупку светодиодных ламп окупаются менее чем за год, после чего экономия становится чистой прибылью потребителя.

Сравнительные характеристики основных источников света приведены в таблице (табл. 1).

Таблица – Сравнительные характеристики источников света

Параметр	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа	Светодиодная лампа
Светоотдача, лм/Вт	10–15	50–70	90–140
Потребляемая мощность при световом потоке около 800 лм, Вт	60	15	8–10
Срок службы, ч	1000	8000–15000	25000–50000
Время выхода на номинальный режим	мгновенно	1–3 мин	мгновенно
Индекс цветопередачи R_a	100	80–90	80–95
Содержание ртути	нет	есть	нет
Устойчивость к частым включениям	низкая	средняя	высокая
Возможность диммирования	ограниченная	да	да, широкая

Ориентировочная стоимость владения за 5 лет	высокая	средняя	низкая

Наглядно сравнение различных источников света по годовому потреблению электроэнергии представлено на рисунке 1.

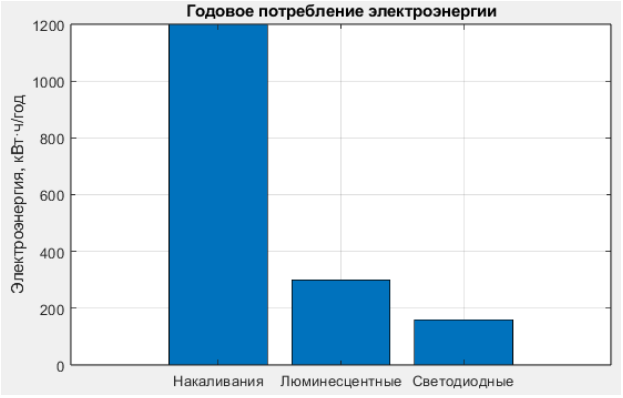


Рис. 1 Годовое потребление электроэнергии различными источниками света

Наряду с преимуществами светодиодное освещение имеет и некоторые ограничения. К ним можно отнести более высокую начальную стоимость, чувствительность к качеству драйверов и питания, необходимость отвода тепла, а также возможность деградации яркости и цветовых характеристик со временем [4]. Дешёвые светодиодные лампы могут иметь повышенный коэффициент пульсаций и нелинейные искажения тока, что неблагоприятно влияет на зрение и работу электрических сетей. Поэтому при выборе светодиодной продукции важно обращать внимание не только на цену, но и на качество драйвера, коэффициент пульсаций, индекс цветопередачи и гарантийный срок.

Тем не менее при правильном выборе и качественном исполнении светодиодные источники света превосходят традиционные по большинству показателей. Они обеспечивают высокую светоотдачу, длительный срок службы, низкое энергопотребление, экологичность и широкие возможности управления.

Светодиодное освещение является одним из наиболее перспективных и эффективных направлений развития современной светотехники. Его основные преимущества — высокая светоотдача,

экономия электроэнергии, большой срок службы, устойчивость к частым включениям, отсутствие ртути, механическая прочность и возможность интеграции в интеллектуальные системы управления. Экономические расчёты показывают, что, несмотря на более высокую начальную стоимость, светодиодные лампы быстро окупаются за счёт снижения затрат на электроэнергию и обслуживание. Поэтому применение светодиодного освещения целесообразно как в бытовых, так и в промышленных электрических сетях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванейчик, А.В. Технико-экономическая оценка эффективности использования светодиодных источников света / А.В. Иванейчик, Е.В. Соболев // Актуальные проблемы энергетики: материалы 63-й научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. — Минск: БНТУ, 2008. — С. 198–200.

2. Усанова, С.В. Светодиодные источники света: преимущества и недостатки / С.В. Усанова // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию Института механики и энергетики. — Саранск, 2012. — С. 302–305.

3. Калинкин, Ю.Ф. Светодиодные источники света, настоящее и перспективы развития / Ю.Ф. Калинкин, А.А. Рубцов, Д.Н. Шубин, А.А. Югов // Наука и инновации в Республике Мордовия: материалы III республиканской научно-практической конференции. — Саранск, 2004. — С. 21–25.

4. Белоусов, А.В. Влияние системы охлаждения светодиодных светильников на эффективность их работы / А.В. Белоусов, А.П. Ковтун, А.В. Приходько, М.А. Седогин // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию президента РТУ МИРЭА, академика РАН, доктора физико-математических наук, профессора А.С. Сигова, Сочи, 01–10 октября 2025 года. — Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского, 2025. — С. 206–210.

УДК 620.173

Усачев Д.В., Беловодская А.А.
Научный руководитель: Крутикова М.А., асс.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ ПЛАСТИЧНЫХ И ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Современное материаловедение, сопротивление материалов и строительная механика базируются на фундаментальном разделении конструкционных материалов по характеру их поведения под нагрузкой на пластичные и хрупкие. В рамках сопротивления материалов под пластичными обычно понимают материалы, способные без разрушения воспринимать значительные остаточные деформации, что позволяет перераспределять локальные напряжения в конструкции. Хрупкие же материалы, напротив, разрушаются при малых деформациях, следуя закономерностям линейной механики разрушения.

Однако, как справедливо отмечается в современных исследованиях, данное деление является в значительной степени условным и зависит от целого комплекса внешних и внутренних факторов: температуры, скорости нагружения и характера напряженного состояния. Классическим примером служит малоуглеродистая сталь: будучи пластичным материалом при комнатной температуре, при понижении температуры она претерпевает хладноломкий переход и может разрушаться как хрупкое тело. Данный факт подчеркивает необходимость комплексной оценки свойств материалов с учетом условий их эксплуатации [1, 2].

Особый интерес в контексте практической значимости представляют такие традиционные материалы, как бронза и чугун, которые нашли широкое применение в различных отраслях человеческой деятельности.

Бронза, являясь сплавом меди с другими элементами (оловом, алюминием, бериллием и т.д.), демонстрирует уникальное сочетание высоких антифрикционных свойств, коррозионной стойкости и достаточной пластичности. Это делает ее незаменимой для изготовления подшипников скольжения, втулок, арматуры и деталей, работающих в условиях трения и агрессивных сред. Пластичность бронзы позволяет использовать методы обработки давлением, а также обеспечивает надежность работы узлов при динамических нагрузках.

Чугун, напротив, традиционно относится к хрупким материалам. Его низкая способность к пластическому деформированию компенсируется высокой прочностью на сжатие, износостойкостью и отличными литейными свойствами. Практическая значимость чугуна огромна, он служит основой для массивных станин станков, корпусных деталей, тормозных колодок и канализационных труб. В условиях сжимающих нагрузок и абразивного износа хрупкость чугуна не является критическим недостатком, а его способность гасить вибрации делает его ценным конструкционным материалом в машиностроении.

Анализ пластичных и хрупких материалов, а также их ярких представителей − бронзы и чугуна − требует учета диалектического единства «свойство − условие эксплуатации». Именно поэтому в данной работе последовательно рассматривается механическое поведение указанных материалов, обосновывается их выбор для конкретных инженерных задач и демонстрируется, каким образом варьирование условий нагружения может принципиально менять характер их разрушения.

Различие в прочностных свойствах чугуна при растяжении и сжатии является одним из наиболее ярких примеров влияния структуры материала на его механическое поведение и имеет принципиальное значение для расчетов в сопротивлении материалов.

Чугун представляет собой гетерогенный материал, структура которого состоит из металлической матрицы (перлит, феррит) и включений графита пластинчатой, шаровидной или хлопьевидной формы [3]. Именно графитовые включения играют определяющую роль в формировании асимметрии механических свойств. Графит обладает крайне низкой прочностью и практически не оказывает сопротивления растягивающим усилиям. При растяжении графитовые пластины действуют как внутренние концентраторы напряжений: в вершинах этих включений возникает резкая концентрация растягивающих напряжений, которая не может быть снята пластической деформацией матрицы из-за ее ограниченной пластичности [3, 4]. В результате развитие трещины происходит практически без предварительной деформации − хрупко, по механизму отрыва. Предел прочности чугуна при растяжении оказывается в 3–5 раз ниже, чем при сжатии, и составляет для серого чугуна порядка 100–200 МПа [4].

При сжатии картина принципиально меняется. Графитовые включения, работая как микрополости, не являются концентраторами сжимающих напряжений − в условиях сжатия вершины трещин не раскрываются, а, напротив, закрываются [5]. Металлическая матрица

воспринимает нагрузку как единый массив, а графит выполняет роль демпфирующего компонента, не снижая несущей способности. Разрушение при сжатии происходит по механизму среза (скалывания) под углом 45° к оси нагружения, что соответствует максимальным касательным напряжениям [3, 5]. Предел прочности серого чугуна при сжатии достигает 600–1000 МПа, что приближает его по этому показателю к малоуглеродистой стали [5, 6]. Таким образом, асимметрия прочности чугуна объясняется тем, что графитовые включения критичны для растяжения, но практически безвредны для сжатия.

Бронза ведет себя принципиально иначе. Будучи сплавом на медной основе, она обладает гранецентрированной кубической кристаллической решеткой, которая характеризуется большим числом систем скольжения (12 и более). Это обеспечивает высокую пластичность и способность к значительной деформации без разрушения. При сжатии бронзовый образец не разрушается хрупко, а претерпевает пластическую деформацию − вплоть до образования бочкообразной формы или полного сплющивания без потери сплошности [6]. С точки зрения сопротивления материалов это означает, что материал реализует свою диаграмму деформирования за пределом упругости, после достижения предела пропорциональности начинается площадка пластического течения, в течение которой деформации растут при практически постоянном напряжении [2, 6]. Разрушение при сжатии, если оно вообще наступает, происходит при значительных степенях деформации ($\varepsilon > 20–30\%$).

Отсутствие хрупкого разрушения бронзы при сжатии объясняется также отсутствием внутренних концентраторов напряжений, подобных графитовым включениям в чугуне. Структура бронзы достаточно однородна, а пластическая деформация локализуется в полосах скольжения, равномерно распределенных по объему. Более того, при сжатии не реализуется механизм отрыва, поскольку нормальные растягивающие напряжения в поперечных сечениях либо отсутствуют, либо малы [2, 6]. Разрушение при сжатии возможно лишь по достижении предельной деформации сдвига, что требует значительной энергии и сопровождается большими пластическими деформациями.

Сравнительный анализ показывает, что различное поведение чугуна и бронзы при сжатии определяется двумя ключевыми факторами: типом кристаллической решетки и наличием структурных концентраторов напряжений [5]. Чугун с его ограниченной пластичностью матрицы и графитовыми включениями демонстрирует

хрупкое разрушение при растяжении и сверхрупкое − при сжатии, но с существенно более высокой прочностью. Бронза же, обладая ГЦК-решеткой и однородной структурой, реализует пластический механизм деформирования при сжатии, что делает ее незаменимой для узлов, работающих под действием сжимающих и знакопеременных нагрузок [2, 5].

С позиций сопротивления материалов полученные закономерности показывают, что прочность материала не является его неизменным свойством, а определяется комплексом нескольких понятий. Это обстоятельство имеет прямое практическое следствие: при проектировании конструкций из чугуна и бронзы асимметрия их механических характеристик требует дифференцированного подхода к выбору критериев прочности [3]. Для чугуна, работающего преимущественно на сжатие, определяющим остается критерий хрупкого разрушения по наибольшим нормальным растягивающим напряжениям, тогда как для бронзы, реализующей пластическое деформирование, более корректным оказывается использование критериев пластического течения − наибольших касательных напряжений [1, 2]. Дальнейшее рассмотрение конкретных примеров расчета позволит проиллюстрировать, каким образом эти различия влияют на выбор допускаемых напряжений и коэффициентов запаса.

Испытание на сжатие выполнялось на универсальной гидравлической машине УММ-10. В качестве пластичного материала использовали бронзу марки Бр. Б2, а в качестве хрупкого − чугун СЧ35. Образцы для испытаний имели цилиндрическую форму с диаметром 1 см, а высотой 1,5 см. Отношение диаметра к высоте составляет 1,5 см, так как при меньшем отношении чрезмерно сказывается влияние трения на торцах, при большем возможна потеря устойчивости образца. Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица - Результаты испытаний на сжатие

Пластичный материал	Fpr, кН	Хрупкий материал	Fmax, кН
Бронза Бр. Б2	31	Чугун СЧ 35	98

Площадь поперечного сечения образцов найдем по формуле:

$$A_0 = \pi \frac{d^2}{4} = 0{,}785 \text{ см}^2, \quad (1)$$

Предел пропорциональности бронзы при сжатии находим по формуле:

$$\sigma_{prc} = \frac{F_{pr}}{A_0} = 39{,}49\ \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad (2)$$

Временное сопротивление чугуна при сжатии находим по формуле:

$$\sigma_{uc} = \frac{F_{max}}{A_0} = 124{,}84\ \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}, \quad (3)$$

Таким образом, эксперимент показал, что бронза при сжатии деформируется пластически с образованием бочкообразной формы (Рис. 1. а) и не разрушается тогда, как чугун разрушается внезапно по наклонной сечению (Рис. 1. б).



а) *б)*

Рис. 1. Испытание на сжатие конструкционных материалов: *а)* бронза; *б)* чугун

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. /11-е изд., стереотип. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 592 с.
2. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / 9-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во Юрайт, 2024. 273 с.
3. Молотников В.Я., Молотникова А.А. Теория упругости и пластичности: Учебное пособие. /Санкт-Петербург: Изд-во Лань, 2021. 532 с.
4. Рудицына М.Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов /3-е изд., перераб. и доп. Минск: Выш. школа, 1970. 628 с.
5. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. Материаловедение: учебник для вузов /5-е издание. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 648 с.
6. Потележко В.П., Толбатов А.А., Серых И.Р., Иваненко В.И. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов; 3-е изд., доп.

Белгород: Изд-во Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2012. 95 с.

УДК 004.451

Ферубко А.О., Казаков О.Д.
Научный руководитель: Казаков О.Д., канд. экон. наук, доц.
Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

ОБЗОР ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ REDOX И ПЕРСПЕКТИВ ЕЁ ВНЕДРЕНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ РАБОЧИХ СТОЛОВ

Развитие отечественной ИТ-инфраструктуры имеет важное экономическое значение [1]. Один из её элементов – системы виртуальных рабочих столов, рынок которых активно исследуется [2]. Их строят поверх гипервизоров, а самым распространённым гипервизором первого типа с открытым исходным кодом остаётся KVM, хорошо совместимый с отечественными ОС на базе Linux [3]. Ранее авторами построена адаптивная система управления KVM, перераспределяющая оперативную память (ОП) между хостовой и гостевой подсистемами по регрессионному прогнозу [4], а различия эффективности использования ОП в гомогенных и гетерогенных средах разобраны в [5].

Все применяемые сегодня гостевые ОС основаны на ядре Linux, написанном на языке C. Rust снимает целый класс ошибок работы с памятью на этапе компиляции и обходится без сборщика мусора [6], а попытка упростить его языком Rue для промышленной разработки пока не пригодна [7]. Поэтому интерес представляют ОС, изначально написанные на самом Rust. Цель работы – обзор ОС Redox и оценка перспектив её внедрения в отечественные системы виртуальных рабочих столов как гостевой ОС контура, управляемого адаптивной системой.

Redox – микроядерная Unix-подобная ОС, целиком написанная на Rust [10]. Ядро содержит около 50 тыс. строк кода. За его пределы вынесены файловая система, сетевой стек, звук, графика и все драйверы, работающие как обычные процессы пользовательского пространства (Рис. 1). Единым механизмом взаимодействия служат схемы, то есть именованные пространства ресурсов с адресацией путём

вида /scheme/имя/ресурс. Ядро лишь доставляет запрос демону, который владеет схемой.

Малый объём привилегированного кода повышает устойчивость системы, а для микроядер разработаны методы верифицируемого проектирования [8]. Rust снимает и ошибки работы с разделяемым изменяемым состоянием ядра [9].

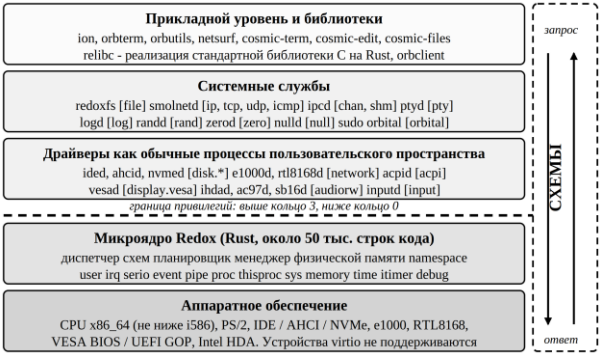


Рис. 1 Архитектура ОС Redox

Образ redox_desktop_x86_64 от 07.09.2024 (версия 0.9.0) запускался как гостевая ВМ под KVM на хосте с Ubuntu 24.04 средствами разработанной авторами адаптивной системы. ВМ выделено 3072 МиБ ОП и 4 виртуальных процессора при нижней границе 2048 МиБ. Подбор конфигурации домена libvirt показал, что Redox не поддерживает ни одного устройства virtio. Рабочая конфигурация потребовала диска на шине IDE (ided), адаптера VGA с расширением VBE (vesad), карты Intel 82540EM (e1000d), клавиатуры и мыши на шине PS/2.

Без драйвера virtio-balloon гость не сообщает гипервизору статистику использования ОП, и адаптивная система переходит на внешнюю оценку по резидентному размеру процесса QEMU:

$$Fg = Ma - (Rq - Oq), \tag{1}$$

где Fg – оценка свободной ОП гостя, Ma – выделенный ВМ объём ОП, Rq – резидентный размер процесса QEMU, Oq – его накладные расходы. Объём перераспределения выражается числом ячеек горячего подключения ОП:

$$n = [|Fh - Fg| / (2C)], \tag{2}$$

где Fh – прогноз свободной ОП хоста, C – размер ячейки, квадратные скобки обозначают целую часть. Перераспределение выполняется при n не менее двух.

Штатный набор ПО беден (Рис. 2). В образ входят оболочка ion, терминал orbterm, набор orbutils, редактор и файловый менеджер семейства COSMIC и единственный браузер NetSurf, который не смог разрешить имя внешнего узла. Команда ls -a в каталоге /home/user возвращает только .config и .local (Рис. 3).

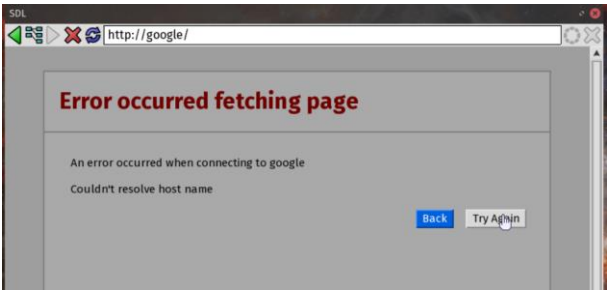


Рис. 2 Браузер NetSurf, единственный в штатном составе образа

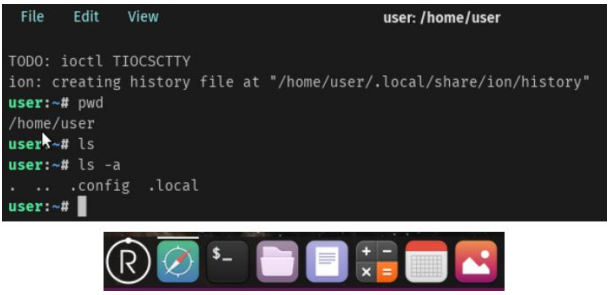


Рис. 3 Оболочка ion в каталоге /home/user (сверху)
и панель задач Orbital со всем набором приложений образа (снизу)

Ролевая модель. Разделение прав задаётся файлом /etc/login_schemes.toml. Суперпользователю доступны все схемы, обычному пользователю – список из 25 позиций. Вне него остаются схемы управления пространствами имён, прерываниями и драйверами устройств, а также загрузочной файловой системой (Рис. 4).

Контур с хостовой Ubuntu и гостевым Redox гетерогенен. Гетерогенность задаётся не разрядностью и не архитектурой процессора, а совместностью механизмов управления памятью. Дедупликация страниц, прозрачные большие страницы и баллонирование опираются на кооперацию гостя, которой у Redox нет из-за отсутствия virtio [5]. Гомогенной связка стала бы лишь при Redox

с обеих сторон, что недостижимо, так как гипервизора у Redox нет. Отсюда требование к адаптивной модели: опираться только на метрики хоста, что и выражает формула (1).

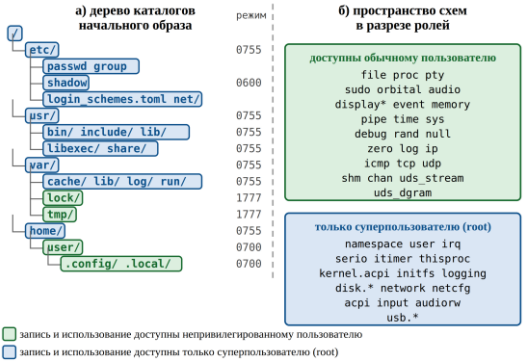


Рис. 4 Дерево каталогов начального образа Redox и разделение схем по ролям

Redox распространяется по лицензии MIT, поэтому систему можно взять за основу отечественного дистрибутива без правовых ограничений [3]. Rust устраняет самый массовый класс уязвимостей системного ПО на уровне компилятора [6]. Микроядро с драйверами в пользовательском пространстве упрощает сертификацию, так как объём доверенного кода мал [8]. Порог входа умеренный: документация называет достаточными четырёхъядерный процессор, 4 ГиБ ОП и 50 ГиБ диска [10], а гостевой ВМ в эксперименте хватало 3072 МиБ.

Главным препятствием остаётся прикладной слой: NetSurf не справляется с современными сайтами. Портирование Яндекс Браузера дало бы Redox рабочее место, пригодное для массового применения в РФ. Вторым шагом нужна поддержка virtio, без которой Redox не встраивается в управляемый контур наравне с Linux-гостями.

Redox пригодна для запуска под KVM, но требует конфигурации домена без устройств virtio. Контур Ubuntu и Redox гетерогенен, поэтому адаптивная модель должна опираться только на метрики хоста. Потенциал системы для отечественного дистрибутива определяют открытая лицензия, язык Rust и малый объём доверенного кода, а ограничением остаётся бедность прикладного слоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивнева, С.В. Тенденции развития российского рынка ИТ-услуг / С.В. Пивнева, Т.Б. Исакова, К.С. Евстраткин, А.Р. Султанова // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. — 2025. — № 2 (111). — С. 123–132.

2. Лимонцев, Д.С. Анализ российского рынка VDI-решений / Д.С. Лимонцев // Шарыгинские чтения : материалы Междунар. науч. конф. — Томск : ТУСУР, 2024. — Т. 1, № 1. — С. 417–423.

3. Гуселетова, А.Е. Обзор современных отечественных ОС Linux, их средства безопасности / А.Е. Гуселетова // Студент: наука, профессия, жизнь : материалы XII Всерос. студ. науч. конф. — Омск : ОмГУПС, 2025. — Т. 2. — С. 379–385.

4. Ферубко, А.О. Сравнительное исследование методов линейной регрессии для построения адаптивной системы управления в высокопроизводительных средах виртуализации / А.О. Ферубко, О.Д. Казаков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2026. — № 95. — С. 73–84.

5. Ферубко, А.О. Обзор причин различия эффективности использования оперативной памяти в KVM: гомогенные и гетерогенные среды / А.О. Ферубко, О.Д. Казаков // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. — 2026. — № 1 (27). — С. 19–23.

6. Зиновкин, А.И. Безопасная работа с памятью в Rust / А.И. Зиновкин, И.Н. Полякова // Программирование и вычислительная математика : материалы конф. — М. : МГУ, 2025. — С. 75–79.

7. Ферубко, А.О. Обзор языка программирования Rue в качестве языка для разработки отечественной ИТ-инфраструктуры / А.О. Ферубко, О.Д. Казаков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2026. — Вып. 2. — С. 346–352.

8. Qian, Z. A measurable refinement method of design and verification for micro-kernel operating systems in communication network / Z. Qian, R. Xia, G. Sun [et al.] // Digital Communications and Networks. — 2023. — Vol. 9, No. 5. — P. 1070–1079.

9. Hong, J. Taming shared mutable states of operating systems in Rust / J. Hong, S. Shim, S. Park [et al.] // Science of Computer Programming. — 2024. — Vol. 238. — P. 103152.

10. The Redox Operating System [Электронный ресурс] / The RedoxOS Developers. — 2026. — URL: https://doc.redox-os.org/book/ (дата обращения: 25.09.2026).

УДК 004.912

Худяков М.В.
Научный руководитель: Коршак К.С. ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОБЗОР МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ОТБОРА ПЕРСОНАЛА: ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ С ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ КЭДО

Цифровизация кадровых процессов давно перестала быть просто красивым лозунгом. Сегодня это суровая реальность. Переход на кадровый электронный документооборот идет полным ходом, особенно в государственном секторе, где форсированное импортозамещение и обновленные законодательные нормы диктуют свои жесткие правила игры. Казалось бы, победа. Бумажная волокита окончательно уходит в прошлое. Но на практике картина выглядит куда более противоречивой, скрывая в себе фундаментальный системный изъян. Дело в том, что популярные отечественные системы КЭДО начинают эффективно и без сбоев работать ровно с того момента, когда человек уже де-факто нанят. Они прекрасно маршрутизируют приказы, оформляют ознакомление с локальными актами и собирают цифровые подписи сотрудников. А что происходит за шаг до этого? Практически неконтролируемый процесс. Этап первичного отбора, интеллектуальная оценка соискателя и финальная передача данных утвержденного кандидата в систему кадрового учета остаются гигантской слепой зоной. Рекрутинг продолжает жить в своей изолированной среде, а строгий кадровый учет существует совершенно обособленно. Подобный технологический разрыв между современными инструментами поиска персонала и моментом официального трудоустройства сводит на нет колоссальную долю эффективности. В результате дорогостоящая автоматизация на стыке двух систем спотыкается, превращаясь в банальный ручной перенос данных специалистом из одной программы в другую.

Рынок HR-технологий сегодня буквально перенасыщен решениями для автоматизации поиска персонала. Разнообразные системы управления кандидатами научились виртуозно справляться с массивами неструктурированной информации. Парсинг резюме давно стал нормой. Умные алгоритмы мгновенно извлекают из пестрых, по-разному отформатированных документов ключевые сущности, будь то стаж, образование или специфические навыки, а затем аккуратно

раскладывают их по базам данных. На арену уверенно вышел искусственный интеллект. Интеллектуальный скоринг позволяет не просто прочесть сухой текст, но и сопоставить его скрытую семантику с профилем идеального кандидата. Разработчики все чаще интегрируют в этот процесс математические модели и элементы агентного моделирования. Программные алгоритмы способны оценивать пригодность соискателя с пугающей точностью, учитывая десятки разрозненных факторов. Звучит действительно впечатляюще.

Однако именно тут и возникает технологический тупик. Какими бы продвинутыми ни были эти системы оценки, они продолжают обитать в изолированном вакууме коммерческой гибкости. Передовые платформы отбора остаются вещью в себе. Они превосходно накапливают данные и ранжируют таланты, но совершенно не понимают, как передать этот результат дальше по строгой бюрократической цепочке. Искусственный нейросетевой фильтр может высоко оценить креативность или лидерские качества человека. Но он абсолютно бессилен, когда дело доходит до формальной верификации юридических нормативов, без которых процесс официального трудоустройства просто не сдвинется с мертвой точки. Вся эта высокотехнологичная магия разбивается о суровую реальность жестких регламентов.

Российский рынок кадрового электронного документооборота сегодня представлен весьма мощными, но крайне специфичными решениями. Имена лидеров у всех на слуху. Платформы калибра Directum, HRlink или фундаментальные системы от БФТ изначально проектировались под безупречное исполнение уже запущенных процессов. Они обеспечивают юридически значимый обмен документами, автоматическое формирование приказов и предельно прозрачную маршрутизацию сложных согласований. Это тяжеловесные и надежные механизмы. Но они абсолютно не терпят информационной грязи. Такие системы требуют на входе идеальной чистоты данных и стопроцентного соответствия внутренним структурным шаблонам. Особенно остро эта проблема несовместимости проявляется в государственном секторе. Прием нового сотрудника в условную городскую администрацию — это отнюдь не быстрое собеседование с тимлидом. Это долгий бюрократический квест, намертво подчиненный суровым нормативным регламентам. В госаппарате недостаточно быть просто проактивным специалистом с хорошим портфолио. Процедура найма диктует обязательную скрупулезную проверку множества критически важных атрибутов. Тщательно оценивается наличие

профильного высшего образования. Дотошно, вплоть до одного дня, высчитывается стаж государственной гражданской службы. Запрашиваются справки об отсутствии судимостей. Любая оплошность на этом этапе недопустима и грозит серьезными юридическими последствиями. При этом классические системы кадрового учета не умеют и, по своей архитектуре, не должны самостоятельно анализировать сырые тексты резюме на предмет соответствия этим жестким требованиям. Они функционируют как слепые исполнители. Интеграционные шлюзы таких систем просто молча ждут, когда им передадут уже готовый, абсолютно выверенный и математически точный набор переменных для генерации финального приказа о приеме на работу.

Именно здесь, на стыке двух технологических миров, обнажается главная боль всей инфраструктуры. Возникает парадоксальная ситуация. С одной стороны, мы имеем свободный полет самопрезентации соискателя, изложенный в вольном текстовом формате резюме. С другой — холодную логику кадровых баз, требующую строго типизированных структур. Единых стандартов обмена данными между этими вселенными попросту не существует. Умные парсеры способны выхватить из потока слов нужные смыслы. Но сформировать из них безупречный информационный пакет, который без ошибок переварит корпоративная платформа, оказывается сложнейшей инженерной задачей.

Следующий подводный камень носит глубоко методологический характер. Современные алгоритмы обучены искать совпадения по компетенциям. Они мыслят категориями эффективности и скрытого потенциала. Но регламенту госучреждения глубоко безразлична харизма кандидата. Если для занятия должности закон требует ровно три года стажа профильной службы, а у претендента не хватает буквально одного месяца, система отбора может легко проигнорировать этот нюанс в угоду блестящему опыту в коммерческом секторе. В итоге кадровик получает анкету великолепного специалиста, которого юридически невозможно взять на работу. Цифровой мозг сработал вхолостую.

Замыкает этот круг процессуальный изъян, который на практике сводит на нет все усилия разработчиков. Как сегодня выглядит финал торжества HR-технологий? Довольно комично. Специалист открывает инновационную платформу отбора, изучает красивые графики компетенций, а затем тяжело вздыхает и начинает монотонно вбивать

данные победителя руками в окошко другой программы. Человек вынужден выступать в роли примитивного живого интерфейса. Вручную создается та самая критическая связка конкретной должности и фамилии, запускающая процесс официального оформления. Этот абсурдный ручной перенос съедает колоссальное количество времени. Более того, он возвращает в систему пресловутый риск опечаток, напрочь обесценивая саму идею сквозной и безопасной автоматизации.

Чтобы разорвать этот порочный круг, косметических улучшений интерфейса уже недостаточно. Архитектура корпоративных процессов отчаянно нуждается во внедрении так называемых интеллектуальных шлюзов. Речь идет о проектировании принципиально новых модулей, способных взять на себя всю тяжесть трансформации вольного текста в юридически выверенный цифровой профиль. Такой программный агент не просто выхватывает удобные факты из присланного резюме. Он мгновенно примеряет на себя роль беспристрастного внутреннего аудитора. Пропуская через алгоритмы сырые данные соискателя, система жестко валидирует их на соответствие суровым регламентам конкретного государственного учреждения. Использование элементов многоагентного моделирования позволяет алгоритму самостоятельно сопоставлять юридические тонкости, безжалостно отсеивая тех, кто не проходит по строгим формальным критериям найма. На выходе этот шлюз выдает не абстрактную диаграмму лидерских качеств. Он генерирует абсолютно корректный цифровой пакет, эталонно упакованный под внутреннюю архитектуру тяжеловесной платформы документооборота. Кадровая служба получает готовую, математически обоснованную связку утвержденной должности и конкретной фамилии. Именно такой подход открывает реальную перспективу для создания по-настоящему бесшовного процесса оформления сотрудников.

Интеграция передовых систем интеллектуального подбора с консервативными платформами кадрового электронного документооборота представляет собой не просто привлекательную технологическую опцию. Это критически важный и абсолютно неизбежный шаг на пути к построению действительно бесшовного корпоративного процесса. Время компромиссных полумер безвозвратно ушло. Разработка и внедрение промежуточных аналитических шлюзов позволит навсегда избавить сотрудников кадровых подразделений от изнуряющей рутины ручного переноса данных, неизбежно плодящей досадные системные ошибки. Строгая алгоритмическая валидация кандидатов на предмет их точного соответствия суровым нормативным требованиям государственного

сектора на корню ликвидирует влияние пресловутого человеческого фактора. Только при таком подходе цифровая трансформация обретет свой истинный прагматичный смысл. Разрозненные этапы первичного поиска, сложной многоуровневой оценки и финального бюрократического оформления наконец-то сольются в единый, математически выверенный и безупречно работающий механизм принятия решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коломыцева, Е. П. Участие работодателей в учебном процессе. Практический опыт / Е. П. Коломыцева // Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях : Сборник материалов VI Международной заочной научно - практической конференции, посвящённой 60-летию БГТУ им.В.Г.Шухова, Белгород, 20 декабря 2014 года / Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 307-312. – EDN TOPYXJ.

2. Головина С. Ю., Зайцева Л. В. Электронный кадровый документооборот: от правового эксперимента к практике //Правоприменение. – 2022. – Т. 6. – №. 2. – С. 241-256.

3. Денисов А. Ф., Кардаш Д. С. Анализ практик применения цифровых технологий в отборе персонала //Экономика и управление. – 2018. – №. 6 (152). – С. 26-37.

4. Тихонов А. И., Коновалова В. Г. Отношение российских работодателей к автоматизации в сфере управления персоналом: технологии искусственного интеллекта и подбор персонала //Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. – 2019. – Т. 8. – №. 2. – С. 79-84.

5. Гильдингерш М. Г., Тестова В. С. Инновационные технологии подбора персонала (на основе искусственного интеллекта) //Векторы благополучия: экономика и социум. – 2023. – №. 1 (48). – С. 164-172.

УДК 004.75:656.13

Цой Е.А., Орлов Л.В., Андреева С.О.
Научный руководитель: Семыкина А.С., канд. техн. наук., доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВНЕДРЕНИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНЫХ ДОРОГ

Безопасность и комфорт - это неотъемлемая часть развития для нашего будущего. Интеллектуальные транспортные системы, машинное зрение, цифровизация и другие термины уже внедряются в жизнь крупных городов.

Для обеспечения безопасности дорожного движения, наиболее востребованы переходы от точечных методов к комплексным системам, которые позволяют управлять всей экосистемой транспортного движения.

Наиболее востребованные решения сейчас:

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – используют данные с датчиков, навигационных сервисов, дорожных видеокамер, детекторов транспортного потока, средств автоматической фиксации нарушений, умных светофоров, а также электронных средств оплаты проезда. Помимо фиксации нарушения, такие технологии позволят прогнозировать опасные участки, оптимизировать движение и сократить количество аварий [1].

Сейчас большое внимание направлено на контроль систем весогабаритного грузового транспорта. Это система имеет ключевое значение в предотвращении скорого разрушения проезжей части.

Интеллектуальное уличное освещение, которое позволяет быть более видимым в тёмное время суток для других водителей и пешеходов, что влечёт за собой рост безопасности и комфорта на дороге.

Машинное зрение – это технология которое использует камеры и искусственный интеллект, для того что бы видеть, думать и идентифицировать знаки и препятствия во время движения. Обычно в самоуправляемых автомобилях используется несколько камер для того, чтобы собрать как можно больше информации. Эта технология помогает автоматизировать трафик, управлять инфраструктурой, распознать опасные манёвры и использовать машинное зрение для внедрения функции автопилота[2].

Ключевыми проблемами сейчас являются:

Несмотря на статистику снижения аварий по всей стране, преобладающей проблемой является безопасность. В некоторых регионах она почти никак не изменилась: виной тому является недостаточный контроль за опасными участками дороги, невозможность внесения изменений для избавления от опасного участка, а так же отсутствие системного мониторинга ситуации.

Комфорт на дороге является не менее приоритетным. Отсутствие оптимизации дорожного трафика, пробки, дефицит парковочных мест, стоянка в не положенных местах, конфликты между пешеходами и водителями – всё это формирует негативное восприятие городской жизни.

Так же, актуальной проблемой считается экономика. Огромное количество средств уходит на то чтобы содержать всю инфраструктуру города. Часть этих средств расходуются не рационально ввиду неэффективности стояночных мест и дорог.

Цифровизация способствует комплексному решению таких задач, посредством объединения данных, оптимизации процессов и формирования прозрачной системы управления городской мобильностью.

На данный момент есть несколько тенденций развития.

Первым шагом будет переход на предиктивную аналитику, которая, в свою очередь, позволяет предугадывать все возможные события. Ими являются: анализ трафика, погоды, времени суток, поведение самого водителя и других участников дорожного движения. Вследствие чего, будут предоставляться решения и рекомендации для того что бы избежать конфликтных и затруднительных ситуаций.

Вторым шагом является объединение транспортных систем с городскими цифровыми платформами. Таким образом, открывается доступ к данным о движении транспорта, навигации, карте, экологичности, освещению и другим онлайн платформам.

Третьим шагом выступает увеличение использования системы V2X, целью которой является повышение безопасности на дорогах, оптимизации транспортного потока и условий для создания автономного автомобиля [3]. В систему V2X входит: V2I, V2V, V2P, V2N. V2I отвечает за связь между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой. Она собирает информацию об опасных участках дорог, связывается со светофорами и датчиками на дороге, систематизирует данные о дорожных знаках и передаёт их другим водителям в режиме реального времени. V2V рекомендует безопасную

скорость, направление движения других водителей, их положение и момент торможения. V2P позволяет обеспечить сбор данных о взаимодействии автомобиля с пешеходами, способствует обнаружению и передаче водителю их намерений. V2N даёт возможность подключения автомобиля к облачным и сетевым платформам, а так же к интернет сервисам. Водитель получает информацию о трафике на дорогах, погодных условиях и происшествиях на проезжей части [4].

Так же стоит упомянуть систему, которая получила широкое распространение – Шведская программа Vision Zero. Официально она не закреплена в качестве стратегии, однако её главные идеи сохранены и постепенно внедряются в городскую среду.

При реализации программ комплексного благоустройства улично-дорожной сети Москвы, во многом устанавливался приоритет принципам концепции Vision Zero, хотя формально этот термин не использовался.

Как пример, уменьшался размер проезжей части, расширялись тротуары, создавались островки безопасности, и улучшалось уличное освещение. А самое главное, к каждому участку, подлежащему ремонту, был применён индивидуальный подход. Особое внимание было направлено на места скопления людей и пешеходных переходов, метро, жилых зон, общественных пространств и учреждений.

Немаловажно упомянуть и о направлении создания виртуальной копии транспортной инфраструктуры. Создание цифрового двойника помогает в прогнозировании износа дорог, возможного ремонта, а также в планировании решений создания более безопасных узлов дороги, мостов и проезжей части в целом.

Сейчас на дорогах всё чаще можно встретить технологию Интеллектуальных Транспортных Систем, связанные между собой оптические датчики состояния поверхности дороги, метеостанции, датчики интенсивности движения, а так же нейроПУИД [5].

НейроПУИД это всепогодный анализатор потока машин, который использует машинное зрение и искусственный интеллект для выполнения своих задач. А именно: подсчёт транспортных средств и полосу их движения, распределение транспортных средств по классам, классификация по скоростям, расчёт среднего интервала и дистанции между транспортными средствами, вычисление средней скорости потока и показателя заполненности полосы. Все данные от этих датчиков и камер передаются в одну базу данных для улучшения и облегчения поставленного прогноза [6,7].

Подводя итоги, главная цель на данный момент – создание адаптивной и устойчивой транспортной системы, где все элементы связаны друг с другом. Но внедрения новых цифровых технологий не будет достаточно для улучшения безопасности и комфорта, для этого так же требуется пересмотр подхода к управлению и формирование новых компетенций.

На данный момент государство делает огромные шаги в развитии данного направления. Сейчас не только столица, но и регионы постепенно переходят на аналитические модели управления дорожной инфраструктурой.

В настоящее время цифровые технологии играют всё более значимую роль в обеспечении дорожной безопасности, а их внедрение поспособствует снижению количества аварий, созданию более комфортной городской среды и повышению контроля дорожной обстановки. В таких условиях безопасность становится результатом комплексного и продуманного подхода, основанного на современных методах управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронные помощники для водителя: система контроля полосы движения, парковочная система и система обнаружения пешеходов / С. А. Нежута, А. Ю. Перькова, А. С. Семыкина, Н. А. Загородний // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2019. – № 3. – С. 66-70. – EDN KOWTOS.

2. Некрестов, Н. С. Применение искусственного интеллекта в диагностике автомобилей / Н. С. Некрестов, А. В. Шестопалов, В. А. Самойленкова // Новая наука: теоретический и практический взгляд : материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, София, 31 октября 2024 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2024. – С. 28-36. – EDN KVGRFH.

3. Васильев, В. П. Искусственный интеллект в каждый автомобиль / В. П. Васильев // Автомобильные дороги. – 2025. – № 4(1121). – С. 74-78. – EDN SKYYZS.

4. Кисуленко, Б. В. Нормирование безопасности автомобилей с искусственным интеллектом / Б. В. Кисуленко // Стандарты и качество. – 2020. – № 5. – С. 92-95. – EDN VCJOGR.

5. Диагностика неисправностей автомобиля с использованием искусственного интеллекта / Г. С. Циганов, Е. Г. Герасин, С. В. Рейн, В.

В. Ляненбурский // Проблемы научной мысли. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 38-41. – EDN QERLUH.

6. Румянцева, К. О. Роль и эффективность систем фото- и видеофиксации нарушений ПДД, влияющих на снижение аварийности / К. О. Румянцева, А. С. Семыкина, Л. В. Орлов // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XVII Международного молодежного форума, Белгород, 30–31 октября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 620-625.

7. Эксплуатация автомобилей при использовании технологий больших данных / Р. В. Гринякин, С. В. Дорохин, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-3(89). – С. 120-127. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-120-127.

УДК 656.13

Цой Е.А., Орлов Л.В., Белокобыльский А.В.
Научный руководитель: Загородний Н.А., д-р техн. наук., доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДАЛЬНИХ ПОЕЗДКАХ С ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Эксплуатация автомобилей на дальние расстояния предполагает качественную подготовку автомобиля к поездке. Для этого необходимо провести проверку технического состояния автомобиля и убедиться, что автомобиль находится в технически исправном состоянии.

При повышенной загруженности транспортное средство будет вести себя на дороге совершенно иначе, нежели в обычных условиях эксплуатации. Для автомобиля, который привык к коротким расстояниям и минимальной нагрузке, дополнительный вес кардинально изменит поведение самого автомобиля. Поэтому водителю необходимо заранее понимать эти особенности, чтобы правильно подготовить автомобиль к дальней поездке.

Перегруз автомобиля влияет на управляемость и динамику автомобиля. Вся нагрузка в основном распределяется на заднюю ось транспортного средства - на багажник. Задняя подвеска из-за этого сильно проседает, а передняя ось автомобиля, наоборот, приподнимается. В конечном итоге передние колёса теряют контакт с

асфальтом, автомобиль на скорости свыше 100 км/ч начинает слегка вести в разные стороны.

Полная загрузка автомобиля влияет на тормозную систему. В условиях высоких температур тормозные колодки с дисками от постоянных торможений моментально перегреются. При нажатии на педаль тормоза торможение автомобиля, из-за перегрева элементов тормозной системы, может не произойти.

Перед любой дальней поездкой необходимо произвести осмотр транспортного средства, чтобы избежать неисправностей в самой дороге. Первым делом нужно проверить давление и глубину протектора в шинах. На кузове автомобиля, в проёме водительской двери есть специальная таблица, где указано какое давление нужно поддерживать в шинах при максимальной загрузке. При обычных условиях эксплуатации колесо обычно накачивают до 2.2 атмосферы. Колеса гружёной машины необходимо подкачивать сильнее, чем обычно – до 2.5 атмосферы. Минимальное допустимое значение глубины протектора шины - 1.6 мм. Для безопасного движения по трассе рекомендуемая глубина - 3-4 мм. При меньшем значении возрастает риск аквапланирования.

Также перед поездкой необходимо привести осмотр подкапотного пространства. Необходимо проверить уровень и цвет моторного масла, если оно чёрное и с запахом гари – требуется его заменить. Если пробег до следующей замены меньше 1000 км, лучше обновить масло заранее. Далее нужно оценить уровень антифриза, тормозной жидкости, жидкости в бочке стеклоомывателя.

Частая причина отказов в дороге – севший аккумулятор, поэтому необходимо произвести осмотр клемм, контактов. Если батарея старше 3-4 лет – лучше заменить заранее.

Ремни, шланги, патрубки – могут лопнуть в пути, особенно при высоких температурах окружающей среды. Перед поездкой требуется проверить на СТО натяжение ремня ГРМ и приводных ремней, герметичность всех шлангов.

После проверки всех важных агрегатов под капотом следует уделить внимание электрооборудованию. В дороге, особенно в темное время суток, перегоревшая лампочка может привести к опасности или даже к аварийной ситуации. Поэтому важно оценить исправность всех ламп, фар дальнего и ближнего света, стоп-сигналов, габаритов и звукового сигнала.

Отправляясь в дальнюю поездку с собой, необходимо взять насос, различные виды ключей, домкрат, буксировочный трос, рабочую

запаску и канистру с бензином. На случай чрезвычайных происшествий в авто должен присутствовать набор, который включает в себя аптечку, огнетушитель и знак аварийной остановки.

При осуществлении дальней поездки необходимо правильно расположить багаж в багажном отделении. Нагрузку необходимо распределить равномерно, чтобы не перевешивало заднюю ось автомобиля. Тяжелые чемоданы, сумки требуется уложить как можно вглубь, ближе к спинке задних сидений автомобиля, легкие вещи можно оставить с краю или убрать их в бокс на крышу.

Водителю транспортного средства нужно понимать, что гружёный автомобиль набирает скорость очень медленно и неохотно, для быстрого обгона или перестроения мощности двиателя может не хватить. Ему требуется поменять свой стиль вождения: отказаться от резких манёвров при поворотах и затяжных обгонах. Дистанцию перед идущим автомобилем необходимо держать в два раза больше обычной, чтобы успеть остановиться.

Обобщая всё вышесказанное, можно сделать вывод о том, что перед тем, как отправиться в дальнее путешествие на автомобиле следует проверить все его основные агрегаты на исправность. Ведь от этого будет зависеть, прежде всего, безопасность как самого водителя, так и его пассажиров.

Достаточно проверить уровень масла, антифриза, тормозной жидкости, скорректировать давление в шинах и оценить свет всех фар. Отпуск на машине – это не просто поездка, к ней нужно подготовить транспортное средство по максимуму, чтобы избежать различных поломок по дороге. Даже самый надёжный автомобиль требует внимания перед дальним маршрутом.

При езде по скоростной трассе водителю следует придерживаться оптимального режима вождения. Максимальная загрузка транспортного средства кардинально меняет его поведение на дороге. При обгонах или перестроениях автомобиль будет вести себя по-другому, нежели при обычной эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Формирование подходов предиктивной аналитики ТОИР автомобильного парка на основе выбора моделей и алгоритмов / Ю. А. Заяц, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина, А. А. Пестов // Транспортное машиностроение. – 2026. – № 5(53). – С. 63-73. – DOI 10.30987/2782-5957-2026-5-63-73. – EDN IRGFMO.

2. Загородний, Н.А. Управление эксплуатационной надежностью автомобилей / Н.А. Загородний, Ю.А. Заяц, А.Н. Новиков, А.С. Семыкина // Транспортное машиностроение. 2025. № 4 (40). С. 39-46.

3. Москалев, Д. М. Особенности эксплуатации автомобилей марки ВАЗ / Д. М. Москалев, Е. А. Цой, Л. В. Орлов // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XVII Международного молодежного форума, Белгород, 30–31 октября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 479-481. – EDN JEHXBD

4. Мамонов, Е. А. Роль технического обслуживания автомобиля в системе его эксплуатации: анализ и перспективы / Е. А. Мамонов, Н. М. Еремин // Вестник научных конференций. – 2025. – № 7-1(119). – С. 66-68. – EDN RIADTT.

5. Федоров Ф.Ф. Экологические аспекты эксплуатации и технического обслуживания автомобилей. СПб.: Лань, 2019. 312 с.

6. Козловский, В. Н. Система оценки качества легковых автомобилей в эксплуатации / В. Н. Козловский, Д. В. Айдаров. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2017. – 159 с. – EDN YQYBXI.

7. Умиров, И. И. Особенности эксплуатации газобаллонных автомобилей в различных климатических зонах / И. И. Умиров, С. Ш. Шовкиев // Экономика и социум. – 2025. – № 10-2(137). – С. 1018-1021. – EDN WBOLIA.

8. Хадзиев, Т. С. Повышение экологичности и экономичности эксплуатации легкового автомобиля / Т. С. Хадзиев // Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета "Студенческая наука - агропромышленному комплексу" : Научные труды студентов Горского государственного аграрного университет, Владикавказ, 04–05 апреля 2019 года. Том 56/2. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2019. – С. 104-105. – EDN MGDZYR.

9. Исхаков, Х. И. Эффективная эксплуатация основных пожарных автомобилей при низких температурах / Х. И. Исхаков, В. Н. Ложкин, М. А. Савин ; Х. И. Исхаков, В. Н. Ложкин, М. А. Савин ; М-во Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, ГОУ ВПО "Уральский ин-т Гос. противопожарной службы". – Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2010. – 354 с. – ISBN 978-5-91774-009-6. – EDN QNOUND.

10. Обшивалкин, М. Ю. Технико-эксплуатационные показатели грузовых автомобилей в различных условиях эксплуатации / М. Ю.

Обшивалкин, В. А. Мигачев // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2010. – № 3(51). – С. 33-35. – EDN QJBKHB.

УДК 691.3

Чалов Д.С., Глазков Р.А., Найман А.С.
Научный руководитель: Кожухова Н.И., д-р тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЫ ГЕОПОЛИМЕРА НА ДЕГРАДАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ФИБРЫ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Геополимерные композиты относятся к инновационной категории строительных материалов, привлекающих внимание исследователей и практиков благодаря сочетанию высоких механических показателей, длительному ресурсу эксплуатации и резистентности к химически агрессивным воздействиям [1–4]. Формирование их структуры и функциональных характеристик определяется не только природой и дисперсностью исходного сырья, но и параметрами синтеза. При этом определяющим фактором выступает экстремально высокий уровень щелочности реакционной среды (pH ≈ 12–14). Именно щелочной фон создаёт условия для протекания реакций поликонденсации, обеспечивая растворение алюмосиликатных прекурсоров, последующую перегруппировку тетраэдров [SiO_4] и [AlO_4] и формирование трёхмерной неорганической сетки. Высокая концентрация гидроксид-ионов также стимулирует упорядочивание аморфных фаз и укрепление связей в структуре геля, что напрямую отражается на прочностных и деформационных свойствах затвердевшего материала.

Вместе с тем, столь агрессивная щелочная среда может оказывать деструктивное влияние на функциональные модификаторы, вводимые в состав геополимера для корректировки реологии, декоративных свойств или улучшения эксплуатационных параметров [5, 6]. В частности, органические суперпластификаторы, пигменты и полимерные дисперсии склонны к гидролизу, окислению или структурной трансформации при длительном контакте с высокощелочной матрицей. Подобные процессы снижают эффективность модифицирования и могут ускорять деградацию

композита в реальных условиях эксплуатации [7].

Цель работы – оценить степень и механизмы воздействия высокощелочной среды геополимерной матрицы на армирующие волокна различной химической природы.

Материалы и методика исследований. В качестве основного алюмосиликатного сырья выбран перлит – вулканическая порода, использованная в виде тонкодисперсного порошка. Выбор обусловлен его низкой насыпной плотностью, развитой пористой структурой и высокой реакционной способностью в щелочных средах. Для армирования применены три типа фибры (рис. 1): базальтовое волокно (БФ), минеральная вата (МВ) и полипропиленовая фибра (ППФ), представляющие минеральную и полимерную группы наполнителей. Активацию геополимеризации осуществляли водным раствором гидроксида натрия (NaOH).

Экспериментальная серия включала три идентичных по базовому составу рецептуры перлитовых геополимеров, различающихся исключительно типом вводимой фибры. Уровень щелочности твердеющей матрицы в ходе исследований поддерживался в диапазоне pH 13,0–13,5, что соответствует типичным условиям формирования геополимерных систем на натриевом щелочном активаторе.

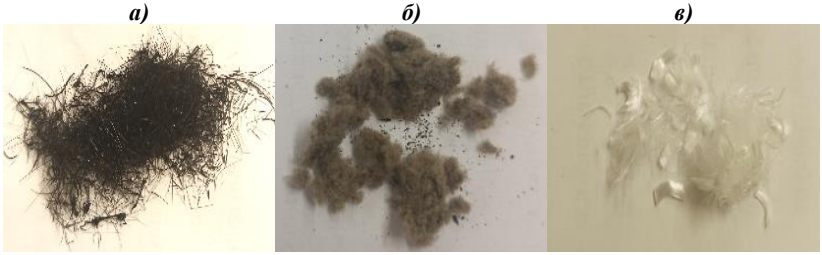


Рис. 1. Внешний вид применяемых фибровых компонентов:
а) БФ, б) МВ, в) ППФ

С помощью растровой электронной микроскопии (рис. 2) проанализированы изменения морфологии поверхности волокон после контакта с высокощелочной геополимерной матрицей.

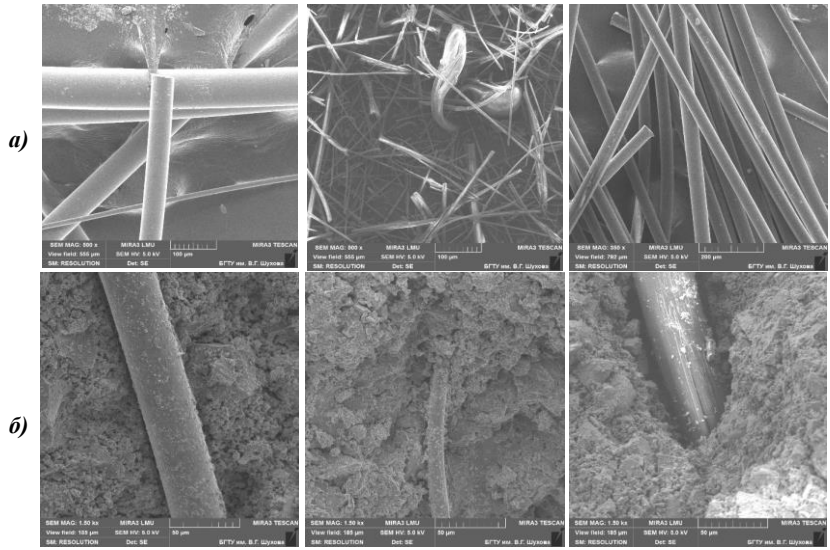


Рис. 2 Внешний вид фибр а) до воздействия геополимерной среды;
б) разрушенном геополимере после испытаний на 28 день

Результаты РЭМ-анализа (рис. 2) свидетельствуют о различной степени устойчивости исследованных волокон к воздействию высокощелочной среды геополимерной матрицы.

БФ. На поверхности волокон фиксируются начальные признаки щелочной деградации: в зонах непосредственного контакта с матрицей наблюдается локальное истончение и сглаживание рельефа поверхности. Хотя разрушения носят поверхностный характер и не затрагивают объём волокна, при длительной эксплуатации; подобные процессы способны прогрессировать и приводить к потере армирующей эффективности.

МВ. Данный тип наполнителя демонстрирует наименьшую коррозионную стойкость: под действием высококонцентрированного раствора NaOH происходит интенсивное растворение стеклофазы, сопровождающееся формированием каверн, трещин и сквозных дефектов. Быстрая деградация МВ ведёт к образованию микропустот в межфазной зоне, что снижает плотность контакта «фибра–матрица» и негативно отражается на механической целостности композита.

ППФ. В отличие от минеральных аналогов, полимерное волокно проявляет высокую инертность к щелочной среде: на поверхности ППФ

не выявлено признаков химического взаимодействия, гидролиза или структурной модификации. Отдельные механические повреждения (царапины, сколы) обусловлены, вероятнее всего, технологическими факторами формования или локальными напряжениями при твердении матрицы, а не химической коррозией.

Выводы. Сравнительный анализ позволяет ранжировать исследованные волокна по степени щелочестойкости в геополимерной системе на основе перлита:

ППФ демонстрирует наилучшую химическую стабильность и может рассматриваться как предпочтительный армирующий компонент для долговременной эксплуатации в высокощелочных геополимерных матрицах.

БФ сохраняет структурную целостность на начальном и среднем этапах твердения, однако требует дополнительного изучения кинетики коррозионных процессов для оценки долгосрочной надёжности.

МВ не рекомендуется к применению в геополимерных системах без предварительной модификации или защитной обработки, поскольку её быстрое растворение компрометирует армирующий эффект и снижает эксплуатационные характеристики материала.

В перспективе для расширения практического применения геополимерных композитов с фибровым армированием целесообразно: провести комплексные механические испытания для установления корреляции между типом фибры, степенью её деградации и прочностными показателями композита; оптимизировать рецептуру геополимерного вяжущего с целью снижения агрессивности среды по отношению к минеральным волокнам; исследовать эффективность поверхностной модификации волокон как метода повышения их коррозионной стойкости без ухудшения адгезии к матрице.

Реализация указанных направлений позволит разработать новые поколения геополимерных материалов с контролируемой долговечностью, расширенной областью применения и повышенной устойчивостью к эксплуатационным нагрузкам.

При реализации исследования было использовано оборудование Центра высоких технологий БГТУ имени В. Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kozhukhova, N.I. The utilization efficiency of natural alumosilicates in composite binders / N.I. Kozhukhova, E.V. Fomina, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova, R.V. Chizhov // Applied Mechanics and

Materials. – 2014. – Vol. 670-671. – P. 182–186. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.182.

2. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications / J. Davidovitz. – Saint-Quentin: Institute Geopolymer. – 2008. – 592 pp.

3. Муртазаев С.А.Ю. Исследование свойств многокомпонентных наполненных вяжущих систем щелочной активации / С.А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 1(93). – С. 114–124.

4. Кожухова Н.И. Оценка эффективности модификации геополимерной системы минеральными наполнителями с точки зрения формирования прочностных характеристик / Н.И. Кожухова, А.И. Буковцова, Н.Ю. Плющенко, И.В. Жерновская // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 1. – С. 8–20. – DOI 10.34031/2071-7318-2023-9-1-8-20.

5. Kozhukhova N.I. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. type of Alkali activating agent / N.I. Kozhukhova, R.V. Chizhov, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Vol. 8, No. 3. – P. 15338–15348.

6. Kozhukhova N.I. Evaluation of geopolymer binders biopositivity based on low-calcium fly ash / N.I. Kozhukhova, I.V. Zhernovsky, V.V. Strokova // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, No. 15. – P. 35618–35620.

7. Aguirre-Guerrero A.M. A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion / A.M. Aguirre-Guerrero, R.A. Robayo-Salazar, R. M. Gutiérrez // Applied Clay Science. – 2017. – Vol. 135. – P. 437–446.

УДК 004.422.63

Чернобровенко А.Е., Письменный А.Б.
Научный руководитель: Панченко М.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПРЯМАЯ АДРЕСАЦИЯ ПРОТИВ ХЕШИРОВАНИЯ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ

Для хранения пар «ключ — значение» с целочисленными ключами из ограниченного диапазона можно использовать массив: ключ определяет индекс элемента, содержащего соответствующее значение

[1]. Другое решение — хеш-таблица, содержащая только имеющиеся пары. Выбор между этими способами особенно важен для разреженных данных, когда используется небольшая часть допустимых ключей.

Зависимость производительности хеширования от организации таблицы и характера нагрузки применительно к идентификации файловых объектов рассматривается в работе [2]. С. В. Сай и Д. О. Митасов исследуют варианты реализации хеш-таблиц и сравнивают собственное решение с хеш-таблицей стандартной библиотеки C++ [3].

В настоящей работе внимание сосредоточено на более узком вопросе: как изменяется преимущество одного способа перед другим при увеличении числа хранимых ключей в фиксированном диапазоне.

Цель исследования — сравнить время создания и заполнения массива и хеш-таблицы при различном числе входных пар и фиксированном размере диапазона ключей.

Задача формулируется следующим образом: дана последовательность из m пар «ключ — значение», причём ключи различны и принадлежат целочисленному диапазону от нуля до $U - 1$. Здесь U — число допустимых ключей, m — число фактически представленных ключей. Выполняется условие $1 \le m \le U$. Требуется сохранить значения всех входных пар и сравнить время создания и заполнения двух структур данных: массива и хеш-таблицы.

В данной работе рассматриваются прямая адресация с использованием динамического массива и хеширование с использованием хеш-таблицы. Обе структуры реализованы средствами стандартной библиотеки C++. В первом случае создаётся массив из U элементов: ключ определяет индекс, по которому записывается соответствующее значение. Во втором случае в хеш-таблицу добавляются m пар «ключ — значение».

Массив создаётся с заполнением нулями. Хеш-таблица используется со стандартными настройками, без предварительного резервирования места под заданное число элементов.

Для оценки вычислительных характеристик используется время создания и заполнения контейнеров. Оно измеряется с момента начала создания контейнера до завершения записи всех входных пар и включает выделение памяти, инициализацию и заполнение. Подготовка входных данных и последующая работа с контейнерами в измеряемое время не входят.

Размер диапазона ключей фиксируется: $U = 10^6$. Число входных пар m принимает значения из множества $\{10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6\}$.

Случай $m = U$ соответствует полному заполнению диапазона и используется для сопоставления с разреженными наборами данных.

Измерения выполняются на выделенном физическом сервере без виртуализации под управлением Ubuntu 24.04, с процессором Intel Core i5-12600KF и 32 ГБ DDR5. Посторонняя пользовательская нагрузка исключается. Используются C++20, GCC 13.3.0 и стандартная библиотека libstdc++. Параметры сборки — *-std=c++20 -O3 -DNDEBUG*.

В контексте вычислительного эксперимента нами была разработана программа на языке C++20 для измерения времени создания и заполнения массива и хеш-таблицы. Ниже приведены фрагменты двух функций, выполняющих создание и заполнение структур (Рис. 1).

```cpp
// Прямая адресация
std::vector<int> values(U, 0);
for (const auto& [key, value] : data)
    values[key] = value;

// Хеширование
std::unordered_map<int, int> values;
for (const auto& [key, value] : data)
    values[key] = value;
```

Рис. 1 Фрагменты кода создания и заполнения сравниваемых контейнеров

Здесь *data* — заранее подготовленная последовательность входных пар. Ключи выбираются равномерно без повторений, порядок записей случайный. В каждом повторении используется своё фиксированное начальное состояние генератора. Для каждого значения *m* обе структуры получают одинаковые данные в одинаковом порядке. В нечётных повторениях первым измеряется массив, в чётных — хеш-таблица.

Перед основным измерением каждая структура трижды создаётся и заполняется на том же наборе данных. Длительность этих повторений не учитывается. Измеряется время четвёртого создания и заполнения. После остановки таймера сохранённые значения сопоставляются с ожидаемыми для соответствующих ключей.

В рамках одного выполнения программы проводятся десять повторений эксперимента. В каждом повторении для всех шести значений *m* раздельно измеряется время создания и заполнения массива и хеш-таблицы. Результаты сохраняются в памяти программы и

выводятся в терминал. Для каждого значения m формируются две выборки по десять измерений — по одной для каждой структуры. Значения каждой выборки упорядочиваются. Итоговым показателем времени служит медиана, вычисляемая как среднее арифметическое пятого и шестого значений упорядоченной выборки.

Для оценки разброса рассчитывается медианное абсолютное отклонение: для каждого измерения определяется абсолютная величина отклонения от медианы времени, после чего находится медиана полученных отклонений. Показатель рассчитывается отдельно для каждой структуры и каждого значения m.

В таблице результаты для всех шести значений m представлены в формате «медиана времени ± медианное абсолютное отклонение».

Таблица — Время создания и заполнения структур данных

Число ключей	**Массив, мкс**	**Хеш-таблица, мкс**
10	81,481 ± 0,077	0,117 ± 0,008
100	81,614 ± 0,086	1,317 ± 0,141
1 000	82,775 ± 0,065	32,631 ± 0,553
10 000	95,786 ± 2,140	256,874 ± 3,383
100 000	238,565 ± 2,838	4 143,423 ± 71,681
1 000 000	1 845,627 ± 83,253	64 500,235 ± 973,039

При числе ключей 10, 100 и 1 000 меньше времени на создание и заполнение требуется хеш-таблице. При 1 000 ключей её медианное время в 2,54 раза меньше, чем у массива. При малом числе ключей соотношение времён следует интерпретировать с учётом ограниченной точности измерения коротких временных интервалов.

При 10 000 ключей быстрее оказывается массив: его медианное время создания и заполнения в 2,68 раза меньше, чем у хеш-таблицы. При 100 000 и 1 000 000 ключей преимущество массива увеличивается до 17,37 и 34,95 раза соответственно. При каждом значении m один и тот же контейнер был быстрее во всех десяти повторениях.

Проведённые эксперименты позволяют утверждать, что при $U = 10^6$ смена преимущества наблюдается между 1 000 и 10 000 ключей, что соответствует заполнению от 0,1 % до 1 % диапазона. Десятикратный шаг изменения m не позволяет определить точное пороговое число ключей внутри этого интервала. Таким образом,

разреженность данных сама по себе не гарантирует преимущества хеширования по времени создания и заполнения. В дальнейшем целесообразно включить в сравнение швейцарскую хеш-таблицу и проверить, изменится ли интервал смены преимущества по времени создания и заполнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синюк В. Г., Рязанов Ю. Д. Алгоритмы и структуры данных: лабораторный практикум. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 204 с.

2. Иванов Е. Ю., Косяков М. С. Анализ эффективности применения методов хеширования в файловых системах, работающих в пользовательском режиме // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 3 (85). С. 72–77.

3. Сай С. В., Митасов Д. О. Технические аспекты реализации хэш-таблиц в высоконагруженных системах // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2025. № 1 (76). С. 59–66. DOI: 10.38161/1996-3440-2025-1-59-66.

УДК 004.9

Чувилин К.В., Митюков А.Е.
Научный руководитель: Бушуев Д.А.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МОДЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНО-ВОЗДУШНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ

Мониторинг лесных экосистем и объектов животного мира затруднён значительной площадью территорий (леса занимают более 46,6 % площади России), их труднодоступностью и ярусностью, из-за которой низовые процессы скрыты от воздушного наблюдателя. Высокая динамичность изменений (пожары, вспышки вредителей, миграции) быстро обесценивает данные.

Существующие методы не универсальны. Наземный мониторинг точен, но привязан к инфраструктуре и трудоёмок. Спутниковый даёт широкий охват, но зависит от облачности и имеет низкое разрешение [6]. Беспилотное воздушное судно (БВС) обеспечивают детальную

съёмку [5], но ограничены временем полёта (20–40 мин), дальностью (5–10 км) и ветром (до 10–12 м/с).

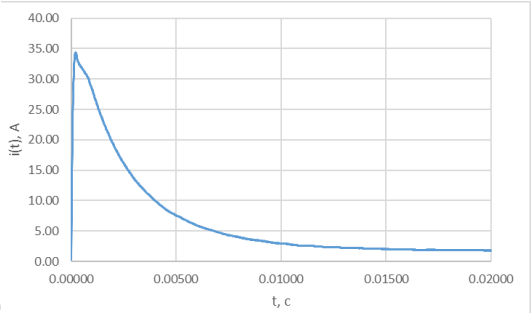
Целевая задача – наблюдение за крупными млекопитающими (не менее 50 см в холке). Предлагается гибридный комплекс: наземный модуль обеспечивает мобильность и энергопитание, дрон – обзор с воздуха. Цель работы – разработка виртуальной модели комплекса и ПО для обнаружения движущихся объектов.

Среди гибридных систем выделяются привязные дроны, челночное базирование и беспроводная зарядка. Привязной дрон имеет неограниченное время полёта, но риск запутывания кабеля. Беспроводная зарядка имеет низкий КПД и создаёт помехи. Челночное базирование с ротацией дронов обеспечивает непрерывность миссии, больший радиус и отказоустойчивость. В результате анализа выбрано челночное базирование – из-за отсутствия риска запутывания кабеля в лесистой местности.

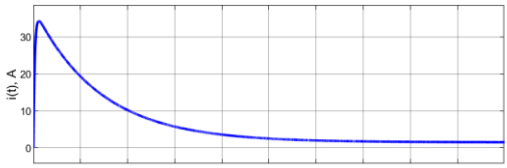
Функциональная схема включает полётный контроллер, бортовой компьютер, датчики и исполнительные устройства. Полётный контроллер управляет ЭБУ моторов, обеспечивая независимое регулирование скорости каждого колеса.

Исследование динамики осуществляется при помощи совместного моделирования. Виртуальный прототип построен при помощи MSC Adams и осуществляет моделирование механической части системы, а в среде MATLAB Simulink осуществляется расчет электрической части приводов, управление и обработка сигналов с сенсоров. Такой подход позволяет моделировать нестационарный рельеф и внешние воздействия. Для контакта «колесо-опора» применяется модель Пасейки [3].

Для наземной мобильной платформы предполагается использование двигателей ZD101AZ1 250W24V. Идентификация данного двигателя выполнена по кривым разгона через шунтирующий резистор [1]. Найдены электрическая и механическая постоянные и остальные параметры. Проверка в Adams View и Simulink подтвердила совпадение тока и установившейся скорости (115 рад/с) с экспериментом (рис. 1).



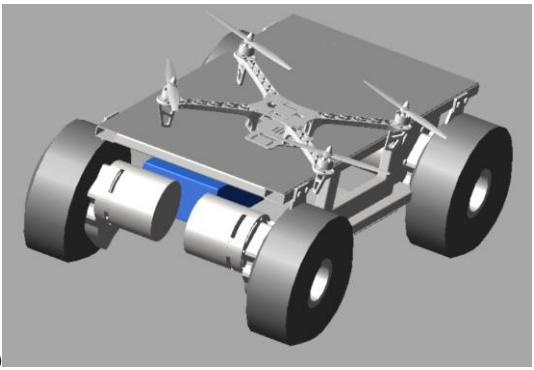
а)



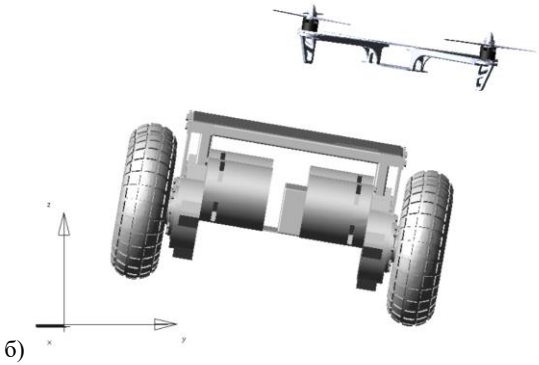
б)

Рис. 1. Графики кривых разгона двигателя: а – реального двигателя; б – модели двигателя

Модель дрона включает корпус, четыре винта и пластину-землю. Задаётся подъёмная сила, вращение, крутящий момент, коллизия между объектами и землёй. Объединение моделей упрощено построением двух моделей: при движении платформы дрон считается грузом, при полёте дрона платформа закреплена (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Тестирование модели: а – соскальзывание дрона при движении;
б – наклон мобильной платформы относительно горизонта

Колебания камеры при зависании дрона делают невозможным прямое применение методов стационарного фона. Задача решается в два этапа: стабилизация видеопотока и детектирование объектов на стабилизированном видео.

Сначала выделяются особые точки выделяются детектором Ши-Томаши. Отслеживание этих точек выполняется пирамидальным алгоритмом Лукаса-Канаде [4], который идёт от грубого уровня к детальному и позволяет отслеживать большие смещения. Для компенсации движения камеры применяются гомографические преобразования [2]; устойчивость к выбросам обеспечивает RANSAC. После стабилизации применяется попиксельное вычитание кадров, пороговая фильтрация, морфологическая очистка и выделение контуров с отрисовкой ограничивающих прямоугольников.

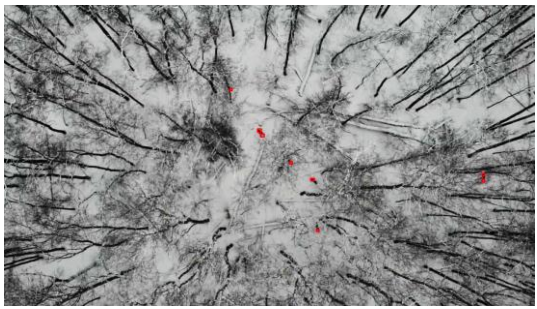


Рис. 3. Обнаружение всех шести животных в кадре при движении камеры

В дальнейшем планируется проведение совместного моделирование динамики работы беспилотного наземно-воздушного комплекса для мониторинга окружающей обстановки в нестационарных условиях.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания FZWN-2025-0002 с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеевский С. В. Математическое моделирование приборов и систем / С. В. Алексеевский, Д. А. Бушуев // Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика. – Москва, 2022. – №12. – С. 36–45.

2. Ефимов А. И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений / Ефимов А. И., Новиков А. И. // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 258–265.

3. Жилейкин М. М. Математическая модель качения эластичного колеса по неровностям недеформируемого опорного основания / М. М. Жилейкин, Б. В. Падалкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – Москва, 2016. – Т. 672, №3. – С. 24–29.

4. Фархадов М. П. Расчёт оптического потока Лукаса-Канаде с применением конечномерных теорем отсчётов / М. П. Фархадов, Р. Г. Теплухин, А. Н. Абраменков, А. В. Абдулов, И. И. Лычков // Управление большими системами. – Москва, 2025. – № 116. – С. 151–179.

5. Ivanova S. Hunting Resource Management by Population Size Control by Remote Sensing Using an Unmanned Aerial Vehicle / S. Ivanova, A. Prosekov // Nature Environment and Pollution Technology. – Индия, 2024. Т. 23, №1. – С. 391–399.

6. Wehner H. Systematic Review of Satellite-Based Earth Observation Applications for Wildlife Ecology Research in Terrestrial Polar and Mountain Regions / H. Wehner, A. Dietz, S. Kounev, C. Kuenzer // Remote Sensing. – Базель, Швейцария, 2025. – Т. 16, №16.

УДК 004.021:519.852

Шакарнех М.М.
Научный руководитель: Косоногова М.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ЯДРО СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ: ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИЯХ И КОНТРОЛЬ ЧАСТИЧНОЙ ЗАНЯТОСТИ

Экономика компаний, оказывающих услуги аутсорсинга и аутстаффинга разработки программного обеспечения, определяется двумя видами издержек: простоем специалиста, не занятого ни на одном проекте, когда заработная плата выплачивается, а выручка не формируется, и невозможностью закрыть клиентский запрос, когда компания теряет не почасовую ставку, а контракт целиком. Решение о назначении обычно принимается вручную, по опыту менеджера и данным электронных таблиц, и с ростом числа специалистов и открытых запросов его качество становится непредсказуемым. Целью работы является построение алгоритмического ядра, обеспечивающего воспроизводимое и оптимальное по стоимости распределение специалистов с учётом их частичной занятости.

Формально рассматриваемая задача сводится к классической задаче о назначениях, входящей в число фундаментальных задач комбинаторной оптимизации [8]. Дано множество исполнителей и множество работ; для каждой допустимой пары определена стоимость назначения; требуется выбрать паросочетание минимальной суммарной стоимости. Точное решение получено Х. Куном в 1955 году на основе теорем Кёнига и Эгервари [9] и впоследствии уточнено Дж. Манкресом до полиномиальной оценки сложности [10]. Современная трактовка задачи и обзор её обобщений приведены в монографии Р. Буркарда и соавторов [8]. Метод применяется в современных задачах — от назначения исполнителей в проектах с учётом параллельного повышения квалификации [3] до распределения групп беспилотных аппаратов [2]. Сопряжённая задача контроля занятости относится к другому классу: вычислительная обработка множеств временных отрезков традиционно опирается на метод заметающей прямой, предложенный Дж. Бентли и Т. Оттманном [7].

На начальном этапе в разрабатываемой системе была реализована жадная эвристика: запросы обрабатывались последовательно, и

каждому назначались наиболее дешёвые из подходящих специалистов. Эвристику проверили на семи модельных конфигурациях разного размера, в статье рассмотрены три из них. Уже на конфигурации из 8 запросов и 25 специалистов обнаружились два серьёзных недостатка. Во-первых, эвристика закрыла только 7 запросов из 8: один клиент остался без исполнителей. Суммарная стоимость при этом была на 47 единиц ниже (605 против 652), но для бизнеса такой результат неприемлем. Здесь и далее стоимость считается как сумма часовых ставок себестоимости назначенных специалистов. Во-вторых, результат зависел от порядка, в котором запросы читаются из базы данных: на тех же данных, но в другом порядке получалось другое решение. Такое решение нельзя воспроизвести, а значит, его трудно обосновать перед заказчиком.

Вместо эвристики был реализован венгерский алгоритм. Он строит квадратную матрицу стоимостей и находит оптимальное назначение сразу для всей матрицы, а не для каждого запроса по отдельности. Сложность алгоритма — $O(n^3)$ [8]. Специалиста можно назначить на позицию только при четырёх условиях: он владеет всеми нужными навыками на требуемом уровне или выше, свободен с даты начала работ, имеет свободную долю занятости на весь срок назначения, а его ставка не выше предела, заданного заказчиком.

Пусть m — суммарное число вакантных позиций по всем запросам, n — число доступных специалистов, $N = \max(m, n)$ — размерность квадратной матрицы, $r(j)$ — часовая ставка себестоимости специалиста j, P — штрафная константа. Элемент матрицы стоимостей $c(i, j)$ определяется выражениями (1)–(3):

$$c(i, j) = \lfloor 100 \cdot r(j) \rfloor, \text{ если } i \text{ и } j \text{ реальны и } j \text{ допущен к } i; \quad (1)$$

$$c(i, j) = P, \text{ если } j \text{ фиктивен либо не допущен к } i; \quad (2)$$

$$c(i, j) = 0, \text{ если позиция } i \text{ фиктивна}. \quad (3)$$

Искомое назначение σ сопоставляет каждой строке матрицы ровно один столбец и минимизирует суммарную стоимость (4):

$$F(\sigma) = \sum c(i, \sigma(i)) \to \min, \quad i = 1, \ldots, N. \quad (4)$$

Штрафная константа принята равной 10^9, что заведомо превосходит любую достижимую сумму реальных ставок. Благодаря этому любое распределение, оставляющее закрываемую позицию незанятой, оказывается строго хуже любого распределения, которое её закрывает: полнота закрытия доминирует над стоимостью. Тем самым в матрице стоимостей непосредственно закодировано экономическое соотношение, описанное выше, — потеря контракта обходится компании дороже, чем привлечение более дорогого специалиста.

Пример модельной конфигурации и построенной по ней матрицы стоимостей приведён ниже (Рис. 1).

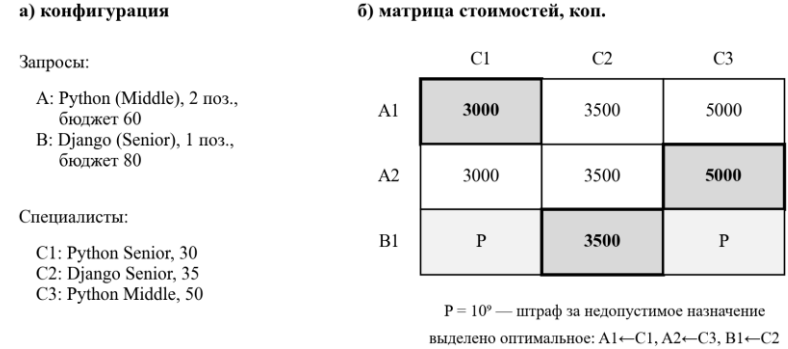


Рис. 1 Модельная конфигурация и матрица стоимостей: запрос B может закрыть только C2 – единственный специалист с Django уровня Senior

Результаты сравнительного эксперимента для трёх конфигураций приведены ниже (Табл.).

Таблица – Результаты сравнительного эксперимента

Запросы × специалисты	Алгоритм	Незакрытых мест	Суммарная стоимость	Время, мс
8 × 25	жадный	1	605,00	1,41
8 × 25	венгерский	0	652,00	2,50
15 × 60	жадный	0	917,00	6,98
15 × 60	венгерский	0	904,00	16,97
30 × 150	жадный	0	2097,00	36,26
30 × 150	венгерский	0	2071,00	195,93

Стоимость — сумма часовых ставок себестоимости назначенных специалистов; время — единичное измерение (Python 3.13, ОС Windows 11), приведено для сопоставления порядков величин.

Вторая составляющая алгоритмического ядра решает задачу контроля частичной занятости. В отличие от классической постановки, где исполнитель либо свободен, либо занят целиком, специалист может одновременно участвовать в нескольких проектах, посвящая каждому лишь часть рабочего времени. Занятость описывается тройкой «специалист — интервал дат — доля ставки»: например, назначение на 0,5 ставки с 1 по 30 сентября и назначение на 0,6 ставки с 15 сентября по 15 октября сами по себе допустимы, однако на пересечении

интервалов, с 15 по 30 сентября, суммарная доля достигает 1,1 и превышает физически доступное время. Задача состоит в том, чтобы обнаружить факт перегрузки, определить её величину и указать конкретный подотрезок, на котором она возникает.

Непосредственная попарная проверка всех назначений требует числа операций, квадратично зависящего от их количества, и устанавливает лишь факт пересечения, не давая количественной оценки. Поэтому использован метод заметающей прямой. Каждое назначение даёт два события: в день начала доля занятости растёт, в день окончания — уменьшается. События всех назначений специалиста собираются в один список и сортируются по дате. Затем список проходится один раз, и по ходу считается текущая суммарная доля. Так сразу находятся все отрезки, где порог превышен, и видно, на сколько. В нашем примере найдётся значение 1,1 на отрезке с 15 по 30 сентября. Самый долгий шаг здесь — сортировка, поэтому сложность метода O(n log n) [4], где n — число назначений специалиста. Доли занятости хранятся как десятичные числа с фиксированной точностью: при числах с плавающей точкой накапливается погрешность и возникают ложные срабатывания на границе порога.

Таким образом, если свести задачу распределения к задаче о назначениях и решать её венгерским алгоритмом вместе с методом заметающей прямой, закрывается больше клиентских запросов, результат не зависит от порядка данных, а частичная занятость учитывается правильно. Когда оба метода закрывают все запросы, точный метод ещё и дешевле. Он работает медленнее эвристики, и разница растёт с размером задачи: от 1,8 до 5,4 раза на рассмотренных конфигурациях. Но даже на самой большой из них расчёт занял 196 мс, что ничтожно мало по сравнению с ручным подбором.

Ядро предназначено для компаний, которые занимаются аутсорсингом и аутстаффингом, и встраивается в их систему управления ресурсами. С ним работают ресурсный менеджер, который формирует назначения, и руководитель предпродажной подготовки, который до подписания контракта оценивает, можно ли выполнить запрос. Ядро получает данные из трёх систем: из CRM-системы — запросы и сроки, из кадровой системы — навыки, уровни и ставки специалистов [1], из системы учёта рабочего времени — фактическую загрузку, что позволяет сравнивать план с фактом.

В дальнейшем планируется учесть ограничения, которых нет в классической постановке: специалиста нельзя одновременно назначать конкурирующим заказчикам, занятость должна быть непрерывной, без

коротких перерывов, число параллельных проектов у одного специалиста ограничено, а при продлении контракта команду желательно сохранить. С такими ограничениями задача в общем случае становится NP-трудной [8], и понадобятся приближённые методы. Для задач о назначениях с дополнительными ограничениями известны двойственные методы [5] и алгоритмы для несимметричных постановок [6]. Сейчас функция стоимости учитывает только экономические показатели. Если добавить в неё критерии развития компетенций, приоритета заказчика и маржинальности контракта, можно перейти к многокритериальной оптимизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров Е.Н., Гирин М.А., Маматов А.В. Интеграция агент-ориентированных моделей в корпоративные информационные системы учета персонала // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения: сб. материалов IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Курск: ЮЗГУ, 2026. С. 16–21.

2. Дубанов А.А., Болоев П.А. Оптимальное распределение дронов в групповом преследовании целей при реализации венгерского алгоритма в системе компьютерной математики // Вестник кибернетики. 2025. Т. 24, № 4. С. 35–40.

3. Карягин А.Ю. Задача назначения исполнителей в проектах с возможностью параллельного повышения квалификации // Информационные системы и технологии ИСТ-2020: сб. материалов XXVI Междунар. науч.-техн. конф. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 149–153.

4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 3-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2013. 1328 с.

5. Медведева О.А., Медведев С.Н. Использование двойственных методов для решения задачи о назначениях с дополнительными ограничениями специального вида // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 197–200.

6. Миргородская Е.Е., Спивак А.Е., Аль-Карави Р.Д.С., Ефимова Е.С. Алгоритм решения несимметричной задачи о назначении с ограничениями // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сб. трудов IV Междунар. науч.-практ. конф. Балаково, 2022. С. 278–284.

7. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 478 с.

8. Burkard R., Dell'Amico M., Martello S. Assignment Problems. Philadelphia: SIAM, 2009. 382 p.

9. Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem // Naval Res. Logist. Q. 1955. Vol. 2, № 1–2. P. 83–97.

10. Munkres J. Algorithms for the assignment and transportation problems // J. Soc. Ind. Appl. Math. 1957. Vol. 5, № 1. P. 32–38.

УДК 666.1.002.5

Шаталов В.А., Муравецкий Н.А.
Научный руководитель: Шаталов А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ

Из-за повышенных требований к характеристикам готовой продукции и необходимости уменьшения расхода энергии на единицу выпуска всё активнее применяются помольные установки, функционирующие по замкнутому циклу совместно с воздушным сепаратором. Использование сепаратора вместе с различными помольными агрегатами позволяет повысить технологические характеристики измельчаемого сырья благодаря формированию порошков с более однородным гранулометрическим составом, а также нарастить объёмы выпуска и сократить энергоёмкость [1].

Работа сепаратора базируется на применении центробежной силы, которая образуется при вращении его главного рабочего элемента. Сепарирование используется как для разделения материалов, так и для их освобождения от механических и природных загрязнений [2].

Кроме того, перед нами стояла цель определения способов практического применения хвостов обогащения в оборот и создать технологию, опирающуюся на их применение как кварцевого наполнителя для разнообразных стройматериалов: бетонов, железобетонов, керамических масс, цемента и других [4].

Для решения этой задачи предполагается задействовать железосодержащие хвосты как исходное сырьё для выпуска железооксидных пигментов-наполнителей, применяемых в лакокрасочной продукции, а также в производстве строительных материалов [5].

Цель данной работы заключается в создании и изучении сепаратора комбинированного принципа действия, предназначенного для получения высокодисперсных пигментов из железорудных отходов. Это делается на основе патентного анализа и опытных испытаний, что даст возможность уменьшения удельного расхода электроэнергии и улучшения качества конечного продукта. Для достижения этого требуется спроектировать конструкцию сепаратора комбинированного действия и выполнить экспериментальные исследования, чтобы выявить ключевые закономерности, определяющие эффективность процесса разделения материала в данном аппарате.

Для решения этих задач нами предлагается использовать вихреакустический классификатор [6]. Классификатор состоит из корпуса с герметично установленной сверху улиткой, на которой закреплен электропривод ротора, на валу которого закреплены крыльчатка с лопастями, размещенными в верхней части корпуса, усеченных конусов с меньшими основаниями, выполненными под углом к горизонтали.

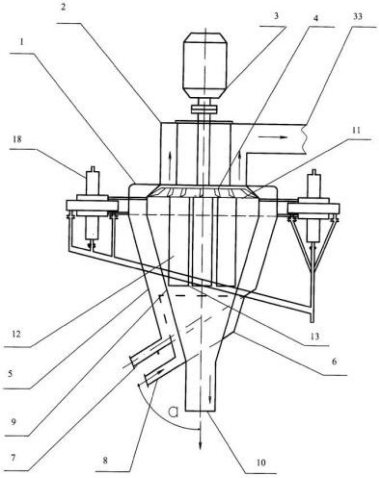


Рис. 1. Вихреакустический классификатор

Благодаря тому, что в вихреакустическом классификаторе используются вынесенные наружу элементы особой конфигурации — усечённые конусы с перфорацией на боковой стенке, — удаётся усовершенствовать метод извлечения уловленного материала, повысить результативность разделения пылевидной смеси, уменьшить

расход энергии на сепарирование и обеспечить постоянное восстановление работоспособности пылеулавливающего устройства.

В ходе выполненных нами опытных исследований ставились следующие цели: изучить, как протекает процесс разделения мелкодисперсных порошков, а также исследовать аэродинамические параметры, определяющие характер этого процесса в воздушном сепараторе, и на их основе вывести регрессионные зависимости.

В соответствии с составленным планом экспериментов были выполнены опыты по изучению разделения тонкодисперсного порошка. За основу взяли стандартные измерения, применявшиеся для оценки производительности, эффективности и качества разделения мелкодисперсного порошка в разработанном воздушно-центробежном сепараторе.



Рис.2. Модель и экспериментальная установка
а) модель установки б) экспериментальная установка

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением расхода воздуха через сепаратор растет производительность аппарата. Это происходит за счет увеличения аэродинамической силы воздуха на частицы разделяемого материала.

Представленные на рисунках 4 и 5 данные показывают, что перекрытие шиберных заслонок, при котором сепарационный воздух частично или полностью направляется в систему аспирации сепаратора и замещается свежим воздухом, поступающим через патрубок, существенным образом влияет на аэродинамические параметры сепарационной системы, что позволяет проектировать центробежные сепараторы, обеспечивающие максимальную эффективность

разделения тонкодисперсных порошков по крупности с гарантированными технологическими свойствами.

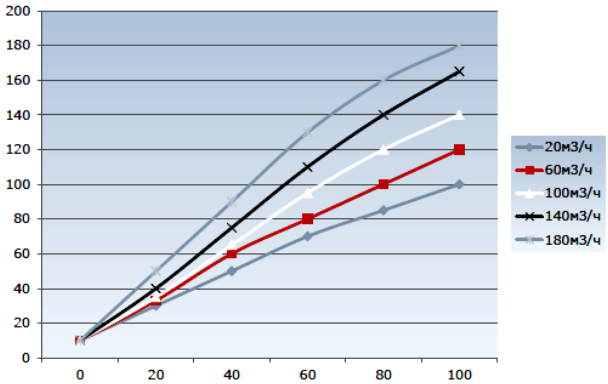


Рис. 3. Влияние на разрежение в камере сепарирования степени перекрытия δ шиберных заслонок

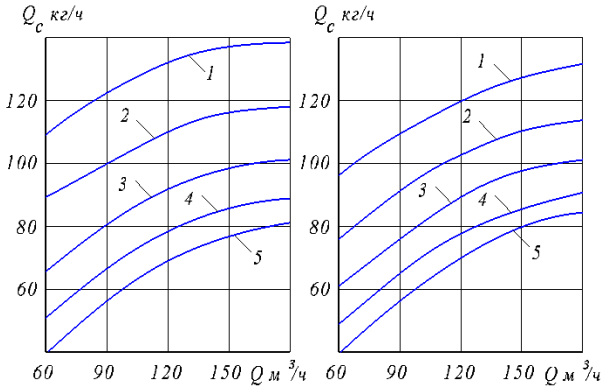


Рис. 4. Экспериментальные зависимости Qc(Q)

В дальнейших исследованиях необходимо будет провести оптимизацию исследуемых факторов (с использованием разработанной нами программы): расхода сепарационного воздуха, степени перекрытия шиберных заслонок, расстояния между центральным приёмным конусом и центральным разгрузочным отверстием, концентрации частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкоропад Д. Е., Новиков О. Центрифуги и сепараторы для химических производств/ М. Изд-во Химия, 1987г., 256с.

2. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций".- М.: Высш. школа, 1987.- 368с.

3. Шаталов, А.В. Технологические комплексы для измельчения кремнеземистых материалов: монография / А. В. Шаталов, С.А. Михайличенко; БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород.: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. – 135с.

4. Севостьянов В. С. и др. Теоретические и экспериментальные исследования помольного комплекса с сепаратором комбинированного действия / Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 622-634.

5. Севостьянов М.В. Ресурсо-сберегающее оборудование для комплексной переработки техногенных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №4. 2016. С.140-145.

6. Вихреакустический классификатор. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Зубков Д.Э., Шаталов А.В., Нечаев С.П. Патент на изобретение RU 2264268 C1, 20.11.2005. Заявка № 2004123996/03 от 05.08.2004.

УДК 666.1.002.5

Шаталов В.А.
Научный руководитель: Шкарпеткин Е.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДИСПЕРГАТОРА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Роторные измельчители широко применяются в строительной, деревоперерабатывающей, топливной и др. отраслях промышленности для механического воздействия на твердые кусковые или волокнистые материалы с целью получения дисперсных фракций различного технологического назначения [1-5].

У каждого известного роторного измельчителя есть некоторые недостатки в строении. К примеру: для удаления измельченной пыли из зоны измельчения требуется применение дополнительного оборудования, для распушивания волокнистого материала также требуется применение дополнительного оборудования.

В рамках работы научно-исследовательской лаборатории НИЛ РЭТОК БГТУ им. В.Г. Шухова авторами (Шаталов В.А., Михайличенко С.А., Шаталов А.В., Севостьянов В.С.) был разработан «Роторно-центробежный диспергатор» (патент РФ № 2786113) (рис.1), задачей которого, является получение измельченных древесных компонентов для приготовления твердотопливных брикетов и пеллетов, а также с целью устранения вышеуказанных недостатков [2].

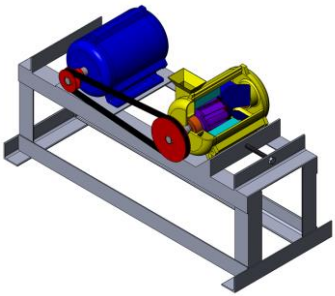


Рис. 1. «Роторно-центробежный диспергатор» (патент РФ № 2786113).

С целью устранения указанных недостатков был разработан «Роторно-центробежный диспергатор» (рис. 1), задачей которого, является получение измельченных древесных компонентов для приготовления твердотопливных брикетов и пеллет (патент РФ № 2786113) [6].

Роторно-центробежный диспергатор (РЦД) относится к оборудованию для обработки мелкокусковых или волокнистых материалов разрезающим воздействием. Он может быть применен в строительстве или топливной промышленности при производстве древесного сырья топливных брикетов.

Особенности запатентованной конструкции РЦД дают широкие возможности для ее дальнейшей модернизации под конкретные задачи. В частности, иглофрезерное воздействие на материалы благоприятно сказывается на их распушивании и предварительной подготовки сырья к измельчению или на последней стадии измельчения для придания распушивающего эффекта измельченному сырью.

Идея использования насадки с иглофрезерным воздействием была реализована конструкции экспериментальной установки РЦА установки насадки на рабочий вал агрегата (рис. 2).



Рис. 2. Вал РЦД с иглофрезерной насадкой

С целью оценки технологических возможностей агрегата после модернизации были проведены эксперименты на лабораторном образце РЦД по измельчению древесных материалов. Для проведения эксперимента были использованы опилки лиственных деревьев (ольха) размером от 10 мм до 15 мм и влажностью 12%. Отобранное древесное сырье загружалось в приемный бункер РЦА одинаковыми порциями, а продолжительность измельчения составляла 20 мин. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Состав рабочего органа РЦД	Крупность сырья до измельчения	Крупность сырья после измельчения	Примечания
Без иглофрезерной насадки	10-15 мм	5-7 мм	Сырья получается пригодным к дальнейшему брикетированию
С применением иглофрезерной насадки	10-15 мм	3-5 мм	Сырье получается распушеным и степень измельчения повысилась

По результатам проведенного эксперимента было установлено, что примененная иглофрезерная насадка оказала положительное влияние на степень измельчения сырья. Кроме того, наблюдаемый эффект распушения измельченного сырья в дальнейшем благоприятно скажется на связывании волокон между собой при дальнейшем механическом воздействии на древесное сырье с целью получения твердотопливных брикетов и пеллет.

Таким образом, модернизация позволяет расширить технологические возможности РЦА при измельчении древесных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брикетирование древесных отходов / Д. В. Бастриков, О. В. Чибирев, В. А. Кацадзе [и др.] // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы Международной научно-технической конференции, Вологда, 01–02 декабря 2015 года / Министерство образования и науки РФ; Правительство Вологодской области; Департамент лесного комплекса Вологодской области; Вологодский государственный университет. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2016. – С. 102-105.

2. Севостьянов В.С. Способы совершенствования измельчителей ударного действия на основе многостержневых рабочих органов/ С.А.Михайличенко, Т.Н.Ильин, А.А.Макридин, Т.Л.Сиваченко// Вестник БГТУ. № 5. 2013. С. 87-90.

3. Графова, Е. О. Снижение влияния технологических процессов переработки древесины на лесные экосистемы / Е. О. Графова, В. С. Сюнев // Современные вызовы и их влияние на развитие науки и образования: анализ и практические решения. – Уфа : Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2025. – С. 38-50

4. Шаталов, А. В. Роторно- центробежный агрегат для измельчения неперерабатываемых отходов/ А. В. Шаталов, В. А. Шаталов, Д. С. Шавирская // Образование. Наука. Производство : XIII Международный молодежный форум, Белгород, 08–09 октября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 968-971.

5. Проценко А. М., Нагаев Б. Ю., Бабуков В. А., Горягин П. Ю. Машины и агрегаты для переработки техногенных волокнистых материалов // XII Международный молодежный форум "Образование. Наука. Производство" : Материалы форума, Белгород, 01–20 октября

2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,2020.С. 1113-1118.

6. Патент № 2786113 C1 Российская Федерация, МПК B02C 18/00. Роторно-центробежный диспергатор : № 2022126667 : заявл. 13.10.2022 : опубл. 19.12.2022 / В. А. Шаталов, С. А. Михайличенко, А. В. Шаталов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". – EDN OYYNEI.

УДК 666.1.002.5

Шаталова Д.С., Шаталов В.А.
Научный руководитель: Шаталов А.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В РОТОРНОМ-ЦЕНТРОБЕЖНОМ АГРЕГАТЕ

Проблема вторичного использования широкой номенклатуры бытовых отходов различного происхождения актуальна в настоящее время. К примеру, для производства полимерных товарных продуктов (упаковочная пленка, ПВХ трубы и многое другое) затрачивается большое количество полезных ресурсов и по итогу отработанные полимерные отходы отправляются на захоронение на территории мусорных полигонов, что в свою очередь пагубно сказывается на экологии окружающей среды, так как разложение таких отходов занимает несколько десятков лет.

Науке давно известны пути реализации переработки полимерных отходов. Такие отходы хорошо поддаются измельчению и вторичной переплавки в специализированных агрегатах для изготовления пленок и пластиковых труб, что в свою очередь благоприятно сказывается на вторичном использовании пластиковых отходов, так как вторичный пластик не снижает качества получаемой товарной продукции.

В Белгородской области существует несколько компаний, занимающихся переработкой полимерных отходов, к ним относятся: ООО «Экочерноземье» и ООО «ТК «Экотранс». Начиная с сортировки и измельчения полимеров и заканчивая их переплавкой в полезную товарную продукцию.

Производственная линия реализована следующим образом: на территорию полигона поступают полимерные отходы, которые проходят стадию сортировки, далее отобранные пластиковые компоненты подвергаются промывке от вредных примесей (масло, пищевые отходы и т.д.) и направляются на стадию грубого измельчения с целью получения полимерных «чипсов», размером от 10 см до 20 см в длину. Далее полученное измельченное сырье измельчается агрегатами тонкого помола и направляется на переплавку.

Проведенный анализ полимерных отходов вынесен в таблицу 1:

Таблица 1 – Анализ состава полимерных отходов на линии переработки

Номенклатура сырья	Номенклатура сырья
Полимерная продукция, пригодная к вторичной переработке	
Бутылки для напитков, соусов	PET
Флаконы для бытовой химии	HDPE
Пакеты от порошка, пищевые пленки	LDPE
Упаковки шоколадок, макарон, йогуртов	PP
Упаковки от яиц, контейнеры для еды	PS
Полимерная продукция, непригодная к вторичной переработке	
Обертки сыров, пластиковые карты	PVC
Фольгированные упаковочные отходы	92
Смесь пластмасс	OTHER

Из таблицы видно, что большая часть полимерных отходов пригодна к переработке и вторичному использованию на производственной линии ООО «Экочерноземья», после механической и термической переработки.

Тонкий помол полимерных отходов требуется производить в специализированном оборудовании, способном измельчить сырье и перемешать его с полезными добавками. В рамках выполнения государственного задания в лаборатории БГТУ им. В.Г. Шухова был разработан и запатентован роторно – центробежный диспергатор [1, 3]. Запатентованный диспергатор имеет универсальную конструкцию,

позволяющую применить несколько механических воздействий на измельчаемое сырье (Рис.1).

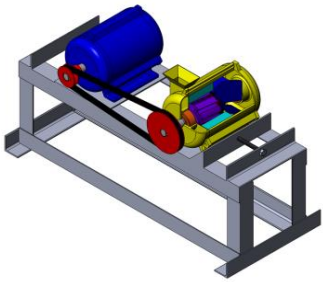


Рис.1 Модель роторно-центробежного диспергатора

РЦД состоит из несколько камер механического воздействия на измельчаемое сырье. Основные камеры: измельчения и смешения. В камере измельчения расположена роторная насадка, которая под действием среза и удара измельчает полимерное сырье в зазоре между режущими кромками и ответной обечайкой корпуса. Далее измельченное сырье проталкивается под действием наклоненных режущих кромок в камеру смешения, где происходит интенсивное пневмомеханическое перемешивание измельченного сырья со связующими добавками. Полученное измельченное и смешанное сырье направляется в циклон для осаждения и не дальнейшую термическую переплавку.

Чтобы установить целесообразность применения запатентованного агрегата была разработана формула просчета производительности [2, 4]:

$$Q_{изм} = l \cdot b \cdot h \cdot z \cdot \rho \cdot n \cdot k_{\phi} \cdot k_{\lambda} \cdot \cos\alpha, \quad (1)$$

Данная формула включает в себя геометрические параметры измельчающей насадки, ее исполнение (профиль режущей кромки и количество режущих зубьев), а также коэффициенты, отвечающие за нормализацию просчета производительности.

На рисунке 2 представлены образцы полимерных отходов до измельчения в разработанном агрегата и после проведения измельчения. Отобранные образцы уже прошли процесс предварительного измельчения в рубильной машине и промывки от маслянистого загрязнения на территории перерабатывающего завода.

Образцы полимерных отходов имеют размеры от 5 мм до 10-20 мм, выбор такого размера обусловлен размерами лабораторного образца РЦД. После измельчения, получившиеся полимерные отходы имеют размер от 0,5 мм до 1 мм. Дисперсность получаемого полимерного сырья можно регулировать с помощью изменения зазора между выходными отверстиями и режущими канавками проставочной пластиной.

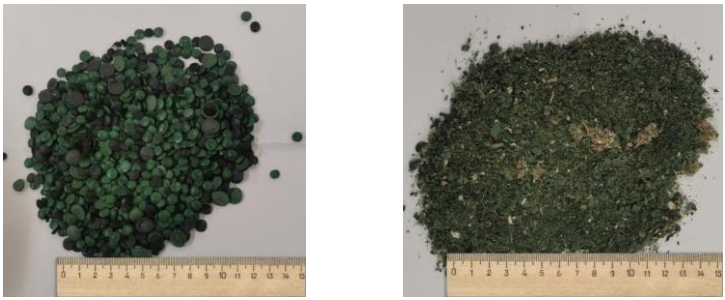


Рис.2 Полимерное сырье до и после измельчения

Результат проведенного испытания по измельчению полимерных отходов показал целесообразность применения разработанного агрегата в линии по переработке полимерных отходов. С учетом, что разработанный агрегат способен заключать в себе несколько этапов механической обработки полимерных отходов (измельчение и смешение) можно с уверенностью утверждать о его универсальности в применении линии по переработке полимерных отходов.

Получаемое полимерное сырье со смешением с полезными добавками позволяет применять его не только для изготовления полимерных труб и полиэтиленовых упаковок, но и при производстве временных полимерных настилов для строительных дорог, покрытия на детских площадках и т.д.

Непригодное к вторичному использованию полимерное сырье после измельчения можно перенаправить на термолизную переработку с целью получения жидкого топлива и технического углерода. Для работы такой линии с полимерными отходами нужно произвести смешение измельчаемого полимерного сырья с резиновыми и бумажными отходами для получения более устойчивых результатов термолизной переработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZWN-2024-0002 «Разработка, исследования и опытно-промышленная апро-

бация наукоемких технологий и технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов» с использованием лабораторного оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2786113 C1 Российская Федерация, МПК B02C 18/00. Роторно-центробежный диспергатор: № 2022126667: заявл. 13.10.2022: опубл. 19.12.2022 / В. А. Шаталов, С. А. Михайличенко, А. В. Шаталов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". Бюл. №35.

2. Михайличенко С.А. Методика определения основных параметров роторно-центробежного агрегата / С.А. Михайличенко, А.В. Шаталов, В.А. Шаталов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 23–25 сентября 2021 года. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 289-295.

3. Шаталов А.В. Роторно - центробежный агрегат для измельчения неперерабатываемых отходов / А. В. Шаталов, В. А. Шаталов, Д.С. Шавирская // Образование. Наука. Производство: XIII Международный молодежный форум, Белгород, 08–09 октября 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 968-971.

4. Вердиян М.А. Новые принципы анализа и расчета процессов и аппаратов измельчения / М.А. Вердиян, В.В. Кафаров. - Цемент. 1982.- №10.- С.6-9.

5. Экспериментальные исследования измельчения материалов средней и малой прочности в роторно-центробежном диспергаторе Михайличенко С.А., Шаталов В.А., Михайличенко И.К., Шаталов А.В. / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 10. С. 100-109.

УДК 004.056.5:004.8

Шевченко А.О., Зубарев М.И.
Научный руководитель: Федотов Е.А., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В условиях постоянного роста киберугроз и усложнения сетевых атак традиционные сигнатурные методы обнаружения вторжений (IDS/IPS) становятся недостаточно эффективными, так как не способны выявлять ранее неизвестные (zero-day) атаки и полиморфные вредоносные программы. Альтернативой выступают поведенческие методы, основанные на анализе статистических характеристик сетевого трафика и выявлении отклонений от нормального профиля. Современные подходы с использованием нейросетевых классификаторов, методов опорных векторов (SVM) и случайных лесов показывают высокую точность, однако их практическое применение ограничено вычислительной сложностью и высоким уровнем ложных срабатываний на зашумленных данных. Целью настоящей работы является разработка гибридного метода обнаружения аномалий, комбинирующего изолирующий лес (Isolation Forest) для первичной фильтрации выбросов и градиентный бустинг (XGBoost) для финальной классификации типов аномалий. В работе решаются задачи: формирование признакового пространства на основе временных и спектральных характеристик трафика; реализация алгоритмов на языке Python с использованием библиотек scikit-learn и xgboost; оценка качества модели по метрикам точности (Precision), полноты (Recall) и F1-меры на открытом наборе данных CIC-IDS-2017.

Исходные данные представляют собой дамп сетевого трафика, содержащий как нормальные соединения (HTTP, DNS, FTP), так и различные типы атак (DoS, Brute Force, Port Scan, Infiltration). Из каждого сетевого потока (flow) извлекались 28 признаков, включая: длительность соединения, количество переданных байт в прямом и обратном направлениях, интервалы между пакетами, флаги TCP, вариабельность размера пакетов, а также спектральные характеристики — коэффициенты дискретного косинусного преобразования временного ряда интенсивности трафика. Для устранения влияния

разнородности масштабов все признаки были стандартизированы к нулевому среднему и единичной дисперсии. Общая выборка составила 2,3 млн записей, из которых 70 % использовались для обучения, а 30 % — для тестирования. Для борьбы с дисбалансом классов (доля аномалий не превышала 3 %) применялась техника синтетической генерации меньшинства SMOTE. На первом этапе выполнялась фильтрация явных выбросов с помощью алгоритма Isolation Forest, который основан на случайном разбиении пространства признаков. Каждая аномалия характеризуется малым количеством разбиений (коротким путем) в построенном лесу решающих деревьев. Порог аномальности задавался на уровне 0,6 от максимального значения. После фильтрации объем выборки сократился на 1,8 %, при этом было удалено 92 % всех аномалий, что подтвердило высокую чувствительность изолирующего леса. Для оставшихся образцов применялась модель градиентного бустинга XGBoost, которая обучалась различать 7 классов атак. Выбор XGBoost обусловлен его устойчивостью к переобучению за счет регуляризации и способностью работать с разреженными данными. Настройка гиперпараметров выполнялась методом случайного поиска с кросс-валидацией по 5 блокам. Оптимальные параметры для XGBoost составили: глубина дерева = 8, количество деревьев = 300, скорость обучения = 0,05, регуляризация L1 = 1,0, L2 = 0,5. Для сравнения были реализованы также классические методы: логистическая регрессия и метод опорных векторов с радиальной базисной функцией. Результаты оценки качества моделей на тестовой выборке представлены в Табл. 1. Метрики вычислялись как макроусредненные по всем классам атак.

Таблица – Сравнительная оценка методов обнаружения аномалий

Метод	Precision	Recall	F1-мера	Время обучения, с
Логистическая регрессия	0,72	0,65	0,68	145
SVM (RBF)	0,78	0,71	0,74	3120

Изолирующий лес	0,81	0,68	0,74	89
XGBoost	0,89	0,86	0,87	520
Гибридный метод (IF + XGB)	0,93	0,91	0,92	610

Анализ Табл. 1 показывает, что предложенный гибридный метод превосходит отдельные алгоритмы по всем основным метрикам. Особенно значим прирост полноты, что критично для систем безопасности, поскольку пропуск атаки (False Negative) является более опасным, чем ложное срабатывание. Время обучения гибридного метода лишь на 17 % превышает время обучения чистого XGBoost, что делает его применимым для периодического переобучения на обновленных данных.

Дополнительно проведена оценка важности признаков с использованием встроенного механизма XGBoost. Пять наиболее информативных признаков: 1) количество байт в обратном направлении, 2) средний интервал между пакетами, 3) вариация длины пакета, 4) коэффициент спектральной энтропии, 5) количество пакетов с установленным флагом SYN. Это подтверждает, что аномальные потоки характеризуются не только объемными, но и временными и структурными искажениями. Распределение ошибок классификации показало, что наибольшие сложности вызывает различие между DoS-атаками и легитимным высокоинтенсивным трафиком (например, потоковое видео), что указывает на необходимость внедрения дополнительных контекстных признаков, таких как время суток и тип сервиса.

Таким образом, экспериментальные результаты подтверждают эффективность ансамблевого подхода, сочетающего грубую фильтрацию изолирующим лесом и точную классификацию градиентным бустингом. Предложенный гибридный метод демонстрирует F1-меру 0,92, что на 5-7 % выше лучшего из рассмотренных базовых алгоритмов, при приемлемых временных затратах. Разработанный программный прототип может быть

интегрирован в систему мониторинга сетевой безопасности корпоративного сегмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафиуллин Т.Т. Обнаружение аномалий в сетевом трафике с помощью методов машинного обучения: магистерская диссертация. – БГУ, 2024. (В работе доказано, что ансамбли моделей способны значительно улучшить результаты отдельных классификаторов)

2. Шелухин О.И., Ерохин С.Д., Полковников М.В. Технологии машинного обучения в сетевой безопасности (серия «Интеллектуальные технологии информационной безопасности»). – М.: Горячая линия-Телеком, 2021. – 359 с.

3. Федотов Е.А. Программа для реализации распределённых вычислений [Электронный ресурс] / Е.А. Федотов, В.С. Фахретдинов. — Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022662981,18.08.2022. — Заявка № 2022662025 от 10.08.2022. — URL: https://www.elibrary.ru

УДК 621.926.5

Щипцов А.В., Разиньков Н.В., Якшин И.М.
Научный руководитель: Фадин Ю.М. канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

СТУПЕНЧАТАЯ ФУТЕРОВКА В ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Трубная мельница является одной из наиболее распространённых машин, используемых в цементной, горно-обогатительной, химической и строительной промышленности [1, 2]. В основном она применяется для тонкого помола известняка, клинкера, угля, руд цветных и черных металлов, химического и керамического сырья, а также других материалов как сухим, так мокрым способом измельчения.

В процессе работы мельницы ее барабан постепенно изнашивается вследствие истирания измельчаемым материалом и ударами мелющих тел. Для предотвращения значительного износа барабана его футеруют сменными плитами из различных износостойких материалов. Без футеровки полость барабана быстро истончится, что может привести к нарушению его геометрии и скорому выходу из строя самой мельницы. Футеровочные плиты также имеют

еще одну функцию, а именно технологическую. Роль данной функции заключается в том, что она определяет режим движения мелющих тел, будь то каскадный, водопадный или смешанный. Важно помнить, что верно подобранная геометрия профиля футеровки обеспечивает подъем мелющих тел на нужную нам высоту для дальнейшего удара по материалу, что значительно влияет на эффективность измельчения мельницы.

На рисунке 1 представлено поперечное сечение барабана мельницы, с установленной внутри ступенчатой футеровкой, которая выполнена в виде чередующихся гладких плит и плит с выступами. Сами выступы выполнены в виде прямоугольников высотой от 0,8 до 1,1 диаметра средневзвешенного шара, которые расположены с шагом 25-36° [3].

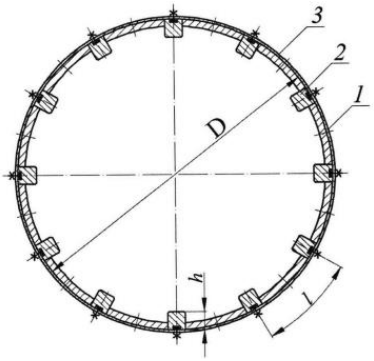


Рис. 1. Барабан мельницы с установленной ступенчатой футеровкой:
1 – гладкая плита; 2 – плита с выступом; 3 – барабан

В отличие от гладких или слабо рифлёных плит, ступенчатая конструкция намного активнее задействует шары при вращении барабана мельницы. Если при гладкой футеровке шары могут проскальзывать при сравнительно небольшом угле поворота, то выступы создают дополнительные опорные поверхности, благодаря которым увеличивается сцепление мелющих тел с полостью барабана от чего они с большей вероятностью достигают необходимой высоты подъема, после чего падают в рабочую зону, тем самым обеспечиваю более эффективную и полную работу большего количества мелющих тел (Рис. 2).



Рис. 2. Траектория движения мелющих тел в барабане

Применение данной футеровки в трубной шаровой мельнице крайне положительно может сказаться на ее долговечности, а за счет ступенчатой конструкции футеровка потенциально способна повысить эффективность измельчения в первой камере помола, за счёт более активного вовлечения мелющих тел при вращении барабана и формирования требуемой траектории их падения на материал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2013. 680 с.

2. Фадин Ю.М., Латышев С.С. Внутримельнечное устройство трубных шаровых мельниц с рециклом загрузки. Белгород; Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 182 с.

3. Патент RU 179532 U1, МПК B02C 17/22 (2006.01). Ступенчатая футеровка шаровой барабанной мельницы: №2017146870: заявл. 28.12.2017: опубл. 17.05.2018 / Хахалев П.А., Богданов В.С., Фадин Ю.М.; заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова

УДК 666.94

Якшин И.М., Щипцов А.В.
Научный руководитель: Юдин К.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Целесообразна автоматизация цементного производства, охватывающая все производственные циклы от добычи сырья до отгрузки готового цемента. Такой подход оптимизирует эти процессы, приводит к снижению расходов производства [1].

Для карьерных работ используют высокоточные мультисистемные комплексы GNSS (GPS/ГЛОНАСС/Beidou), системы автоматического позиционирования для буровых станков и экскаваторов (модуль АСУ ГТК «Карьер» / Kobus от BlastMaker и ShovelManager), системы диспетчеризации (Рис. 1). Они позволяют оценивать выемку пород с точностью до сантиметров и в реальном времени координировать движение самосвалов, делая добычу безопаснее и менее топливозатратной.

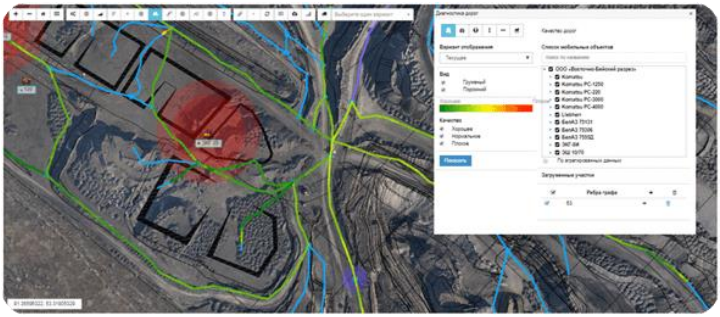


Рис. 1 Вид сверху работы автоматического позиционирования «Курьер».

В процессе дробления и усреднения фракций хорошо себя зарекомендовали системы контроля размера с использованием 3D-лазерных профилометров (LiDAR), показывающие точный 3D-профиль слоя породы на ленте, и стереокамеры или IP-камеры с глобальным затвором (Global Shutter), которые не «смазывают» движущиеся камни. Использование тензодатчиков на ленточных весах позволяет измерять

массовый расход дробленого камня, а подшипники дробилок защищают пьезоэлектрические акселерометры, предотвращающие перегрузки и стабилизирующие фракционный состав (Рис. 2).



Рис. 2 Пьезоэлектрический акселерометр AP2038.

Дозирование компонентов осуществляется весовыми дозаторами с тензодатчиками (точность до 0,1 %) и тензометрическими датчиками расхода в бункерах. Онлайн-контроль химического состава сырьевой муки выполняют PGNAA-анализаторы и LIBS-сенсоры, а интеграция данных с микроволновых влагомеров позволяет автоматически корректировать расход компонентов с учётом влажности сырья, обеспечивая стабильность химического состава (Рис. 3) [2].



Рис. 3 Тензодатчик MNC-100.

После дозирования необходимых добавок, материал отправляется в сырьевой помол, который также автоматизирован. В нём для измерения уровня загрузки используются датчики акустической эмиссии, пьезоэлектрические вибродатчики (акселерометры) и датчики термосопротивления (типа PT100). Они контролируют вибрацию и нагрев цапф, предотвращая аварийные остановки (Рис. 4) [3]. Выставляется автоматическая регулировка расхода «питающего» материала для поддержания оптимальной загрузки и измеряется её

температуры для предотвращения перегрева, тонкость помола регулируется индуктивными или оптическими энкодерами (датчики частоты вращения), которые точно измеряют обороты ротора сепаратора для регулировки тонкости помола.



Рис. 4 Датчик термосопротивления типа PT100.

Для защиты оборудования мельницы оснащаются виброакустическими датчиками (акселерометрами) на цапфовых подшипниках, отслеживающими ударные нагрузки. Контроль атмосферы внутри мельницы осуществляют газоанализаторы O2 и CO, а для предотвращения перегрева и разрушения брони применяются термопары, встроенные в корпус мельницы [3].

В процессе обжига система циклонных теплообменников при помощи термопар и пирометров автоматически контролирует температуру газов на каждом уровне циклонов. Дифманометры контролируют давление и оснащаются системой продувки, что предотвращает «забивание» цементной пылью. Встроенная система автоматического управления регулирует движения заслонок и вентиляторов, обеспечивая стабильную аэродинамику системы.

Контроль состояния футеровки печи осуществляется инфракрасными сканерами температуры кожуха (Kiln Shell Scanners), которые непрерывно строят тепловую карту вращающегося барабана. (Рис. 5). В системе газоходов установлены экстракционные газоанализаторы (O2, CO, NOx, SO2) для контроля полноты сгорания топлива. Температурный профиль по длине печи снимают термопары типа S (платинородий-платина), работающие в агрессивной среде [4].



Рис. 5 Инфракрасный сканер вращающейся печи KILNSCAN

Кроме вышеперечисленных этапов производства, автоматизированы пневмотранспортные системы. Они оснащены автоматическим контролем давления, расхода воздуха и системами предотвращения засоров. Для непрерывного измерения уровня материала в силосах применяются радарные уровнемеры (80 ГГц), не зависящие от запыленности. Аварийный контроль пересыпания осуществляют ротационные флажковые датчики уровня и емкостные уровнемеры, интегрированные в систему блокировок [4].

Таким образом, описанные примеры внедренной автоматизации цементного производства увеличивают объёмы выпускаемой продукции, минимизируют количество брака, улучшают качество готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий. Учебник для вузов. /Под ред. В. С. Богданова / Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Учебник для ВУЗов/Под ред. В.С. Богданова. – Старый Оскол, ТНТ, 2015, 680с.

2. Бутырин П.А., Смирнов В.В. Цифровая трансформация цементной промышленности: от АСУ ТП к интеллектуальным системам управления. // Журнал «Цемент и его применение». – 2023. – № 4. – С. 12–18.

3. Кузнецов Д.В., Петров А.С. Применение датчиков акустической эмиссии и виброконтроля для оптимизации работы шаровых мельниц цементных заводов // Промышленный сервис. – 2023. – № 6. – С. 22–29.

4. Бабков В.Г., Юдин Д.А. Автоматизация технологических процессов в производстве строительных материалов: учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – 215 с.

УДК 004.421

Япринцев М.В.
Научный руководитель: А.В. Крюков, ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РЕКУРСИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМАЛИЗАЦИИ И РЕШЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЗАДАЧ

Современные задачи математики, информатики, физики, биологии, экономики и других научных направлений все чаще требуют использования методов, позволяющих описывать сложные процессы через последовательное изменение их состояний. Одним из таких подходов является рекурсия, основанная на определении текущего значения, состояния или структуры через предшествующие элементы того же типа. Рекурсивные и рекуррентные зависимости широко применяются при построении математических моделей, разработке алгоритмов, анализе динамических процессов, обработке иерархических структур и решении вычислительных задач различной сложности [1].

Актуальность рассмотрения рекурсивных зависимостей определяется тем, что данный принцип носит не узкоспециализированный, а универсальный характер. Такой подход широко применяется в различных областях науки и техники, поскольку позволяет описывать процессы, в которых последующее состояние системы зависит от предыдущего. Именно поэтому важной задачей остаётся рассмотрение рекурсивных зависимостей как общего способа формализации процессов, обладающих повторяющейся, вложенной или последовательной структурой. Такой подход способствует установлению взаимосвязи между математическим описанием задачи и ее алгоритмической реализацией, а также позволяет показать, что сходные вычислительные принципы могут применяться к объектам различной предметной природы.

Расширение круга рассматриваемых задач за счет примеров из различных предметных областей позволяет продемонстрировать практическую направленность рекурсивного подхода, сформировать более целостное представление о механизмах рекурсивных вычислений и развить навыки переноса алгоритмических методов на новые классы задач.

Таким образом, рассмотрение рекурсивных зависимостей в различных областях является важной научно-методической задачей, поскольку позволяет выявить универсальность рекурсивного подхода, систематизировать формы его применения и показать возможности использования единого алгоритмического принципа при решении разнородных прикладных задач.

Рассмотрим конкретные примеры рекурсивных зависимостей в различных предметных областях, произведём анализ особенностей их применения, преимуществ и ограничений.

Рекурсивные методы в математических вычислениях и оптимизации

В математике рекурсия может применяться при вычислении факториалов, чисел Фибоначчи, биномиальных коэффициентов, а также при нахождении наибольшего общего делителя с помощью алгоритма Евклида. Более сложные рекуррентные зависимости используются в комбинаторике, численных методах и задачах оптимизации.

Одним из таких применений является динамическое программирование, основанное на принципе оптимальности Беллмана. Данный метод позволяет разбить сложную многоэтапную задачу на взаимосвязанные подзадачи, результаты которых используются для нахождения оптимального решения.

Для задачи минимизации затрат рекуррентная зависимость может быть представлена следующим образом:

$$V_n(s) = \min_{a \in A_n(s)} [c_n(s,a) + V_{n+1}(f_n(s,a))], \quad (1)$$

где $V_n(s)$ – минимальные суммарные затраты, начиная с состояния s на этапе n; $A_n(s)$ – множество допустимых действий; $c_n(s,a)$ – затраты при выборе действия a; $f_n(s,a)$ – состояние системы после выполнения выбранного действия.

При заданном конечном условии зависимость (1) позволяет находить оптимальное решение последовательно, начиная с заключительного этапа, в отличие от полного перебора всех возможных последовательностей действий. Динамическое программирование использует результаты уже решённых подзадач и во многих случаях сокращает объём вычислений. Таким образом, применение рекурсии в математике не ограничивается вычислением числовых последовательностей. Оно также позволяет разрабатывать эффективные алгоритмы для решения сложных задач оптимизации.

Рекуррентные зависимости в моделировании физических процессов

В физике рекуррентные зависимости используются при моделировании движения тел, радиоактивного распада, затухающих колебаний, электрических цепей и процессов теплообмена. Особое значение они имеют в численных методах, позволяющих исследовать изменения физических систем во времени.

Одним из примеров является моделирование распространения тепла с помощью метода конечных разностей. В данном методе исследуемая область разделяется на отдельные участки, а температура каждого участка на следующем временном шаге определяется через температуру соседних участков и её собственную на предыдущем шаге [2].

Для одномерного уравнения теплопроводности рекуррентная зависимость имеет вид:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{a\Delta t}{(\Delta x)^2}(T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n), \quad (2)$$

где T_i^n – температура в точке i на временном шаге n; a – коэффициент температуропроводности; Δt – шаг по времени; Δx – расстояние между соседними точками. Общая схема вычисления показана на рисунке 1.

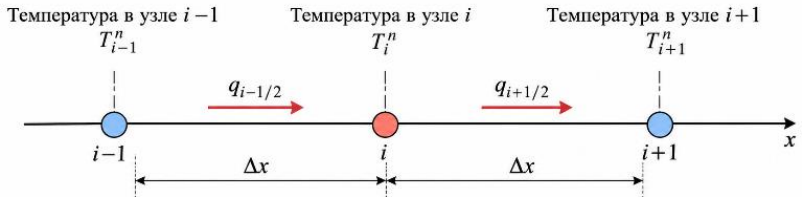


Рис. 1. Схема формирования рекуррентной зависимости для уравнения теплопроводности

Уравнение (2) позволяет рассчитывать распределение температуры в телах сложной формы, для которых получение аналитического решения затруднено. Однако точность и устойчивость вычислений зависят от выбора пространственного и временного шагов.

Рекурсивное построение фрактальных структур

В геометрии рекурсия применяется при построении фракталов, создании самоподобных структур, последовательном делении геометрических фигур и выполнении аффинных преобразований. Подобные методы используются в компьютерной графике, геометрическом моделировании и исследовании объектов со сложной структурой.

Одним из наиболее наглядных примеров является кривая Коха. Её построение начинается с прямолинейного отрезка, средняя треть которого заменяется двумя сторонами равностороннего треугольника. Полученное преобразование многократно повторяется для каждого нового отрезка [3].

Последовательные этапы построения кривой Коха представлены на рис. 2.

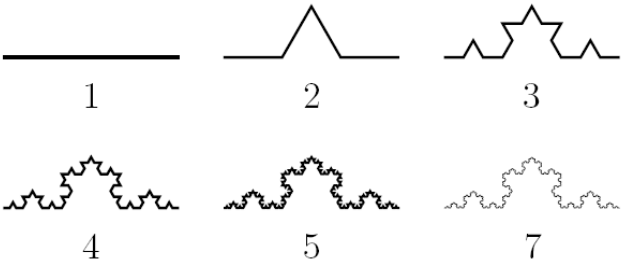


Рис. 2. Последовательные этапы построения кривой Коха

На каждом этапе увеличивается количество отрезков в четыре раза, а их длина уменьшается втрое. В результате формируется самоподобная структура, которая при бесконечном повторении преобразования образует кривую бесконечной длины, расположенную в ограниченной области плоскости.

Рекуррентные модели экономического роста и прогнозирования

В экономике рекуррентные зависимости используются при прогнозировании инфляции, моделировании накопления капитала, управлении товарными запасами, оценке государственного долга и планировании инвестиций. Они позволяют исследовать изменение экономических показателей с учётом результатов предыдущих периодов [4].

Одним из примеров является модель экономического роста Солоу, описывающая изменение капитала под влиянием инвестиций и его износа. Если количество работников и уровень технологий не меняются со временем, изменение капитала на одного работника можно описать с помощью рекуррентной формулы:

$$k_{t+1} = (1 - \delta)k_t + sAk_t^a, \qquad (3)$$

где k_t – капитал на одного работника в период t; δ – норма амортизации; s – доля выпуска, направляемая на инвестиции; A – уровень технологии; a – показатель эластичности выпуска по капиталу ($0 < a < 1$).

Модель позволяет исследовать влияние нормы сбережений и амортизации на долгосрочное развитие экономики. Преимущество рекуррентного подхода заключается в возможности последовательно рассчитать динамику капитала и анализировать последствия изменения экономических параметров. Однако точность прогнозов зависит от принятых предположений и достоверности исходных данных.

Рассмотрение подобных примеров позволяет не только продемонстрировать широту применения рекурсии, но и выявить общие принципы построения рекурсивных моделей. Сопоставление различных методов позволяет показать, что рекурсивный принцип выступает универсальным инструментом формализации как абстрактных вычислительных задач, так и процессов, имеющих прикладную интерпретацию. Кроме того показано, что рекурсия позволяет описывать сложные процессы через последовательность взаимосвязанных этапов, упрощая их моделирование и анализ. При этом эффективность её применения зависит от особенностей рассматриваемой задачи. Освоение принципов рекурсии и приобретение навыков их практического применения позволяет использовать единый методологический подход для решения широкого спектра вычислительных, аналитических и прикладных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программирование, численные методы, оптимизация: учебное пособие / сост. А. В. Крюков, И. А. Рыбин, В. А. Порхало. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. — 23 с.

2. Рубанов, В. Г. Численные методы и оптимизация: учеб. пособие / В. Г. Рубанов, Д. В. Величко. — 2-е изд. стер. — Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. — 160 с.

3. Федер Е. Фракталы / Е. Федер ; пер. с англ. Ю. А. Данилова, А. Шукурова. — М. : Мир, 1991. — 260 с.

4. Григорян, Э. С. Практическое применение метода наименьших квадратов для моделирования экономических процессов / Э. С. Григорян, Н. А. Никонов // Инновационные идеи молодых исследователей : сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции, 31 октября 2025 г., Уфа. – Уфа : Научно-издательский центр «Вестник науки», 2025. – С. 65–71.

СОДЕРЖАНИЕ

[1]Кривошеева М.А., [2]Угнивенко В.С.

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЬДА НА АККУМУЛЯЦИЮ МОРЕННОГО МАТЕРИАЛА И ФОРМИРОВАНИЕ ДРУМЛИНОВЫХ ПОЛЕЙ 3

Акуппа Ю.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ ЧАТ-БОТА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 6

Алешкин К.К., Исса Ю.М., Науменко В.В, Абдуллажонов А.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАВНОМЕРНОЙ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНЫЙ БАРАБАН 11

Алешкин К.К., Исса Ю.М., Науменко В.В., Белозерских И.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО УСТРОЙСТВА СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА 15

Андреева С.О.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК 19

Анисимов И.С., Анисимов Н.С.

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЦЕНТРИРОВАНИИ ТОРЦОВ ТРУБ ГАЗО-НЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ СВАРКЕ 24

Анисимов Н.С., Анисимов И.С.

ИНЖИНИРОНГОВОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЦЕНТРИРОВАНИИ ТОРЦОВ ТРУБ НЕФТЕ- ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ 28

Анисимова В.В., Величко К.А., Уваров М.Д.

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПАКОВКИ ПРОДУКЦИИ БЕЗ ПОДДОНА 33

Анисимова В.В.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ГУСЕНИЧНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ 37

Аноприенко Д.С., Рябчевский И.С.

АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИХ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ 42

Антоненко М.В., Скороходова М.Р., Киселева А.П.

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ШТУКАТУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ ПРИ ВОСПЛАМЕНЕНИИ ПОМЕЩЕНИЙ 48

Бендич С.М.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ GWO И CSSA ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ UAV-EDGE-CLOUD 51

Бондаренко В.О., Захарова М.И.

РАЗРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ В ТЕХНИКЕ ФЬЮЗИНГ 56

Бубельный Н.А., Куликов И.С.

ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ЭЛЕМЕНТОВ ФАСАДА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ 59

Булгаков В.Д., Воскобойников И.С.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРОМ БЛОКА ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАДАННЫХ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ В БЛОКЧЕЙН-СИСТЕМАХ 65

Величко К.А.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПАКОВКИ МАТЕРИАЛОВ С «ЛЕТАЮЩИМ НОЖОМ» НА БАЗЕ СЕРВОСИСТЕМЫ 69

Власенко А.Ю., Кривцов М.С.

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ И ГЕОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОННЫХ И СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 74

Вокуева Н.Е.

МЕТОД ОЦЕНКИ СОГЛАСОВАННОСТИ ДАННЫХ АВТОНОМНОГО УЗЛА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СВЯЗИ В РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... 79

Волобуева А.А.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В РЕСТАВРАЦИИ 84

Володина Е.В., Фомин Ф.А.

ОБЗОР РОССИЙСКИХ ПЛАТФОРМ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКОЙ..... 89

Воскобойников И.С., Булгаков В.Д.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ 93

Галушко А.А., Меньшуткина М.Ю.

РОЛЬ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ В ФОРМИРОВАНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЗЕЛЁНОГО КАРКАСА ГОРОДА..... 97

Гапич А.А., Стребков А.Ю.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ ЗАГОРОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ..... 103

Гирин М.А.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ АБИТУРИЕНТА..... 107

Голосная Д.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТИВНЫХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ 112

Гончаренко Е.Д.

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ДАННЫХ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ МЕЖДУ ФОРМАТАМИ JSON, XML, YAML И CSV 117

Гребеник А.А., Барасанов К.А., Абдухаликов Р., Коноваленко А.С.

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОДБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ ДОЗИРОВКИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК 122

Гречко Ю.А., Левшин Д.Э.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ ПЛОЩАДКУ 126

Губайдуллин Д.А., Шайдуллин Л.Р., Фадеев С.А., Тукмаков Д.А.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ АЭРОЗОЛЯ В ОТКРЫТОЙ ТРУБЕ В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ С УЧЕТОМ ВЯЗКОСТИ НЕСУЩЕЙ СРЕДОЙ..... 130

Гунько Д.М.

ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОЕ ПАНОРАМНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДЕЛОВЫХ ЦЕНТРОВ 135

Давыдов Д.А.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕЙМИФИКАЦИИ 138

Донченко М.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ: СКОЛЬЗЯЩАЯ, ПОДЪЁМНО-ПЕРЕСТАВНАЯ И КРУПНОЩИТОВАЯ ОПАЛУБКА 143

Дреер Ю.И., Каткова В.Д.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА 149

Дубровин В.В.

АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДВУМЕРНОЙ УПАКОВКИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ 155

Евсюков А.В., Низовцев С.И.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ В РЕЧНОМ ПОРТУ Г. ЛЕНСКА 161

Ермак Я.Ю., Гиенко А.С., Алифанова Э.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ 166

Ермоленко А.О., Исса Ю.М., Токмаков А.С., Хромых К.А.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ 170

Захаркин Д.И.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ 174

Захарова М.И., Мехдиева Э.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС И ТЕХНОЛОГИИ ШАМОТНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 179

Зубарев М.И., Шевченко А.О.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА И ИЗОЛИРУЮЩЕГО ЛЕСА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ СЕТЕВЫХ АТАК НА ДАТАСЕТЕ CIC-IDS-2017 184

Иващенко И.А.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ... 186

Исакова Н.А., Исакова В.А.

СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ 190

Казьмина В.В. Сураева А.К.

ОСОБЕННОСТИ И ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ СЕЙСМОСТОЙКИХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ 193

Кайдалов В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ НАКОПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ..... 199

Калашник И.А., Исса Ю.М., Хохлов Д.О., Науменко В.В.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТИПА ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ 203

Карачевцева А. В., Анциферов С.И.

ВИДЫ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНИХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ 206

Карченков Т.Р.

АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИХ ОЧИСТКИ НА ПРИМЕРЕ АО «ГОТЭК»..... 211

Климов А.Д., Седогин М.А.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ РЕГИОНОВ КРАЙНЕГО СЕВЕРА 216

Кривошеева М.А., Брагин В.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА 221

Крупенко Ф.А., Шевердин А.А.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ КАК ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ..... 226

Крутикова М.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ ФЕРМ ПУТЕМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕЙ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ 231

Крухмалёва Е.В., Нагайцева М.А.

БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЦИРКУЛЯРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ..... 235

Кулев Д.В., Соловьев А.А.

ЭВОЛЮЦИЯ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ СБОРКИ В КОНСТРУКЦИИ КУЗОВОВ FERRARI: ОТ СТАЛИ ДО ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИТОВ..... 240

Лапко Н.А.

СИМБИОЗ ДАННЫХ И НЕЙРОСЕТЕЙ: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 244

Левшин А.М., Зюбанов А.В.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ФОРМАМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА 247

Лимощенко В.А., Колупаев И.В.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА СТАЛЬНОЙ РАМЫ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ..... 255

Линже М. Ф. Мб.

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА 259

Ложкин П.Е.

УКРЕПЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА БУРОИНЪЕКЦИОННЫМИ СВАЯМИ ПО МАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ГИДРОРАЗРЫВОМ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ..... 264

Ломов М. И.

РЕКРЕАЦИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ КАРКАСЕ ГОРОДА И ГРАНИЦЫ ДОСТУПА К ПРИРОДНЫМ ТЕРРИТОРИЯМ 268

Ломов М.И.

ПЕШЕХОДНЫЕ СВЯЗИ РЕКРЕАЦИОННОЙ СЕТИ ГОРОДА И ПРИОРИТЕТ ЗАКОНЧЕННОГО МАРШРУТА..... 273

Маркин А.М., Баринов Р. А., Лупандин А.В.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ..... 278

Мартенюк А.В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ OPEN-SOURCE И PROPRIETARY LLM К СОСТЯЗАТЕЛЬНЫМ ПРОМПТАМ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ КОДА НА PYTHON 283

Мироненко И.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ288

Митюков А.Е., Чувилин К.В., Башков Д.Р.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШАТЕЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ..... 292

Моляренко Е.В.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА В КОТЛОВАНАХ ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВОК НИЖЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД 298

Морозова Е.В., Шиллер М.П., Камалетдинова А.И., Иванова О.С., Дадов К.С.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ PYTHON..... 304

Морозова Е.В., Шиллер М.П., Камалетдинова А.И., Иванова О.С., Дадов К.С.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ РАНГОВОГО АНАЛИЗА МЕТАЛЛОВ 309

Московкин Д.Н.

БИОМИМЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК 313

Моторин О.А.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА..... 317

Муниров М.А

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ: РОССИЙСКИЙ И МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ 322

Назаренко Е.А., Исса Ю.М., Белозерских И.В., Матусов М.Г.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦАХ..... 325

Науменко В.В., Исса Ю.М., Токмаков А.С., Хохлов Д.О.

ОСНОВЫ ВЫБОРА И РАСЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ..... 329

Никитина М.А., Щелокова Л.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОНДИЦИОННОГО КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА..... 333

Новосельцев В.Д.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПНЕВМОНИИ НА РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКАХ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ 338

Носатова М.В.

ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА КАК ФАКТОР РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ 342

Нудной С.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК ПО РЕМОНТУ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ 347

Пеньков А.А., Рыбакова А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 352

Перервенко Р.С., Сальников Д.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ПОЛОВ ЧЕРДАЧНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ 356

Пириева Л.Ю., Василов Д.А., Сопов А.Н.

МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБОНАТНО-АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 361

Письменный А.Б., Чернобровенко А.Е.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ЧТЕНИЯ В ПОДСИСТЕМЕ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ DJANGO 366

Пономарев Д.В., Несмеянов Н.П., Науменко В.В., Варенбуд В.Ю.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ 370

Присухин Б.Р.

ДИЗАЙН-ТОКЕНЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ПРОДУКТОВ: ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ИХ ОГРАНИЧЕНИЙ 373

Приходько А.В.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕРВОПРИВОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ 378

Путилин Н.И.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ УГЛОВЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНОЙ АЛГЕБРЫ В ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ 382

Разиньков Н.В., Медведев С.В.

АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В РАМКАХ ГИБРИДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 386

Разиньков Н.В., Никулин В.В.

МЕЛЮЩАЯ ЗАГРУЗКА БАРАБАННОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ 389

Сальников Д.А., Закирова Ю.С.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДА МЕЛЬНИЦЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ПОМОЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТИЦ ВЯЖУЩЕГО 393

Сарбаева В.К.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ПРОФИЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ О ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАЩЁННОСТИ... 397

Свиридов Д.В.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ 402

Святченко А.В.

ПРОБЛЕМА ДЕГРАДАЦИИ НАСАЖДЕНИЙ ЯСЕНЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ 406

Седогин М.А.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОСТОВОГО КРАНА 409

Семенов Р.А.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТА И СРАВНЕНИЕ С ТРАДИЦИОННЫМИ ВИДАМИ 414

Семернин Е.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ В СЛУЧАЯХ НЕКОРРЕКТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ 420

Сёмкин Д.В., Попов В.П., Запара У.И.

ДЕФЕКТЫ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИБРИДНОГО ПРОИЗВОДСТВА WAAM И LMD 425

Сёмкин Д.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ В УСТАНОВКЕ ДВУХСТАДИЙНОГО ПОМОЛА . 430

Семыкина О.С., Клемешова Ю.С.

ПРОБЛЕМА ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕНЕРАТОРОВ И МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ 435

Сердюк Д.А., Соловьев А.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ: ИНТЕГРАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ 440

[1]Серых В.Д., [1]Панченко А.В.

ОБСЛЕДОВАНИЕ БАЛКОННОЙ ПЛИТЫ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА..... 444

[1]Серых В.Д., [2]Гребеник А.А.

ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОРПУСА В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ 447

[1]Серых В.Д., [2]Дегтярь Д.А.

ФОРМУЛЫ ЭЙЛЕРА И ЯСИНСКОГО 450

Скороходова М.Р.

ЛЕГКИЕ ПОРИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК КОМПОНЕНТ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ШТУКАТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ 453

Сураева А.К., Казьмина В.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ..... 457

Тарарыв И.В., Крылов И.А.

ПРЕИМУЩЕСТВА СВЕТОДИОИДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ..... 461

Усачев Д.В., Беловодская А.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ ПЛАСТИЧНЫХ И ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ 467

Ферубко А.О., Казаков О.Д.

ОБЗОР ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ REDOX И ПЕРСПЕКТИВ ЕЁ ВНЕДРЕНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ ВИРТУАЛЬНЫХ РАБОЧИХ СТОЛОВ 472

Худяков М.В.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ОТБОРА ПЕРСОНАЛА: ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ С ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ КЭДО . 477

Цой Е.А., Орлов Л.В., Андреева С.О.

ВНЕДРЕНИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНЫХ ДОРОГ..... 482

Цой Е.А., Орлов Л.В., Белокобыльский А.В.

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДАЛЬНИХ ПОЕЗДКАХ С ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗКОЙ..... 486

Чалов Д.С., Глазков Р.А., Найман А.С.

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЫ ГЕОПОЛИМЕРА НА ДЕГРАДАЦИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ФИБРЫ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 490

Чернобровенко А.Е., Письменный А.Б.

ПРЯМАЯ АДРЕСАЦИЯ ПРОТИВ ХЕШИРОВАНИЯ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ 494

Чувилин К.В., Митюков А.Е.

МОДЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНО-ВОЗДУШНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ..... 498

Шакарнех М.М.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ЯДРО СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ: ЗАДАЧА О НАЗНАЧЕНИЯХ И КОНТРОЛЬ ЧАСТИЧНОЙ ЗАНЯТОСТИ..... 503

Шаталов В.А., Муравецкий Н.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ 508

Шаталов В.А.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДИСПЕРГАТОРА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ..... 512

Шаталова Д.С., Шаталов В.А.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В РОТОРНОМ-ЦЕНТРОБЕЖНОМ АГРЕГАТЕ..... 516

Шевченко А.О., Зубарев М.И.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 521

Щипцов А.В., Разиньков Н.В., Якшин И.М.

СТУПЕНЧАТАЯ ФУТЕРОВКА В ТРУБНОЙ МЕЛЬНИЦЕ 524

Якшин И.М., Щипцов А.В.

НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА..... 527

Япринцев М.В.

РЕКУРСИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМАЛИЗАЦИИ И РЕШЕНИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЗАДАЧ..... 531