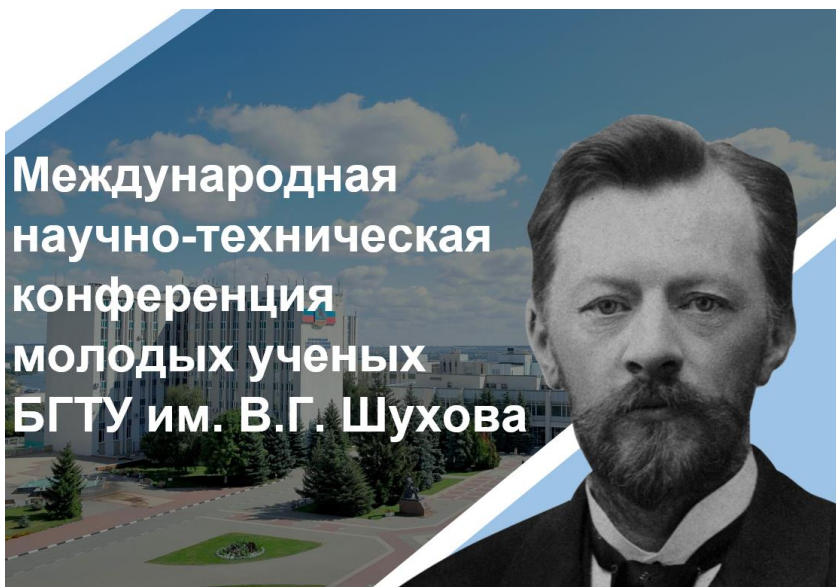


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов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



Сборник докладов

Часть 2

Инженерно-технические науки

Белгород
28-29 мая 2026 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2026. – Ч. 2. – 567 с.

ISBN 978-5-361-01662-4

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

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 978-5-361-01662-4

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

¹Воропаев С.Е.*Научный руководитель: ²Обухов М.Н., канд. с/х наук, доц.*¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия² Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Россия

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARIMA-МОДЕЛЕЙ

Прогнозирование финансовых временных рядов является одной из ключевых задач современной прикладной эконометрики и количественных финансов, поскольку динамика цен активов, валютных курсов, процентных ставок и индексов напрямую определяет эффективность инвестиционных решений и управление финансовыми рисками. Финансовые временные ряды характеризуются высокой степенью стохастичности, наличием автокорреляционных структур, гетероскедастичности и частых структурных разрывов. Эмпирически установлено, что дневная волатильность фондовых рынков в спокойные периоды составляет порядка 1–2 процентов, тогда как в периоды кризисов может возрастать до 5–10 процентов и выше, что существенно усложняет задачу построения устойчивых прогнозных моделей. Несмотря на развитие методов глубокого обучения, классические статистические модели временных рядов, такие как ARIMA, сохраняют высокую значимость благодаря своей интерпретируемости, математической строгости и устойчивости при ограниченных объемах данных [1].

Модель ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) представляет собой объединение авторегрессионного процесса, операции интегрирования и модели скользящего среднего. В общем виде ARIMA(p, d, q) описывается уравнением

$$\varphi(L)(1-L)^d y_t = \theta(L)\varepsilon_t \quad (1)$$

где $\varphi(L)$ – полином авторегрессии порядка p , $\theta(L)$ – полином скользящего среднего порядка q , L – оператор лага, y_t – наблюдаемый временной ряд, ε_t – белый шум с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией. Параметр d определяет количество дифференцирований, необходимых для приведения ряда к стационарному виду, что является критически важным этапом, поскольку большинство финансовых временных рядов в исходной форме нестационарны.

Процесс построения ARIMA-модели начинается с анализа стационарности. Для этого применяются тесты Дики–Фуллера и KPSS. В типичных финансовых данных значение статистики расширенного теста Дики–Фуллера для ценового ряда может находиться на уровне $-1.5 \dots -2.0$, что указывает на наличие единичного корня и нестационарность. После первого дифференцирования ряд преобразуется в доходности, и значение статистики может снижаться до $-5.0 \dots -6.0$, что свидетельствует о стационарности процесса. Это позволяет перейти к следующему этапу – идентификации порядка модели [2].

Определение параметров p и q осуществляется с использованием автокорреляционной функции (ACF) и частичной автокорреляционной функции (PACF). На практике для финансовых временных рядов характерно быстрое затухание автокорреляции, что приводит к тому, что оптимальные значения p и q чаще всего находятся в диапазоне от 0 до 3. При этом увеличение порядка модели выше определённого порога приводит к эффекту переобучения и ухудшению обобщающей способности.

После выбора структуры модели осуществляется оценка параметров методом максимального правдоподобия. На этом этапе минимизируется функция ошибки, связанная с вероятностным распределением остатков модели. Полученная модель используется для краткосрочного прогнозирования значений временного ряда. Важно отметить, что ARIMA-модели наиболее эффективны на горизонтах прогнозирования от 1 до 10 временных шагов, поскольку с увеличением горизонта неопределённость возрастает экспоненциально, а доверительные интервалы прогноза существенно расширяются.

В практическом применении рассматривается пример моделирования временного ряда цен финансового актива с выборкой порядка 1000–2000 наблюдений. После логарифмирования исходного ряда и первого дифференцирования строится стационарный ряд доходностей. Анализ автокорреляционных функций позволяет выбрать модель ARIMA(2,1,2), которая демонстрирует устойчивые результаты на тестовой выборке. Средняя абсолютная ошибка прогноза в подобных задачах обычно составляет порядка 1–2 процентов, а среднеквадратичная ошибка находится в диапазоне 1.5–2.5 процентов, что считается приемлемым уровнем для краткосрочного финансового прогнозирования [3].

Важным этапом анализа является проверка остатков модели. Остатки должны вести себя как белый шум, то есть не иметь значимой автокорреляции и систематических структур. Проверка с

использованием теста Льюнга–Бокса показывает, что при корректно подобранной модели значение p -value превышает 0.05, что позволяет принять гипотезу об отсутствии автокорреляции остатков. Это свидетельствует о том, что модель адекватно описывает структуру данных.

Следует отметить, что несмотря на высокую применимость ARIMA, модель имеет ряд ограничений. Во-первых, она предполагает линейность зависимости, тогда как реальные финансовые процессы часто демонстрируют нелинейное поведение. Во-вторых, модель чувствительна к структурным сдвигам, таким как финансовые кризисы или резкие изменения рыночных условий. В таких ситуациях точность прогнозирования может снижаться до 60–70 процентов по коэффициенту объяснённой дисперсии. В-третьих, ARIMA не учитывает внешние экзогенные факторы, если не используется расширение в виде ARIMAX [4].

Для повышения качества прогнозирования в современных исследованиях ARIMA часто комбинируется с другими методами. Например, гибридные модели ARIMA–нейронные сети позволяют сначала выделять линейную компоненту временного ряда с помощью ARIMA, а затем моделировать остатки с использованием рекуррентных нейронных сетей. Такой подход позволяет снизить ошибку прогнозирования дополнительно на 10–20 процентов по сравнению с классической ARIMA.

С вычислительной точки зрения ARIMA-модели обладают относительно низкой сложностью. Оценка параметров для выборки из 10 000 наблюдений занимает менее одной секунды на стандартном вычислительном оборудовании, что делает их пригодными для оперативного анализа финансовых данных. Это особенно важно в задачах алгоритмической торговли, где задержка принятия решений критически важна [5].

Модели ARIMA остаются одним из базовых и наиболее устойчивых инструментов прогнозирования финансовых временных рядов. Несмотря на развитие более сложных методов машинного обучения, их значимость сохраняется благодаря интерпретируемости, математической строгости и высокой эффективности в краткосрочном прогнозировании. Практические исследования показывают, что применение ARIMA позволяет снижать ошибку прогнозирования по сравнению с наивными моделями случайного блуждания в среднем на 30–40 процентов. Вместе с тем ограничения модели требуют её использования в составе гибридных систем, учитывающих нелинейные зависимости и внешние факторы. Перспективы дальнейших

исследований связаны с адаптивными ARIMA-моделями, автоматическим подбором параметров и интеграцией с методами глубокого обучения для повышения устойчивости прогнозов в условиях высокой волатильности финансовых рынков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бунчиков, О. Н. Управление бизнес-процессами: оптимизация и автоматизация для повышения эффективности / О. Н. Бунчиков, А. А. Сергеев, М. А. Донец // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 29–30 ноября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 163-167.

2. Искусственный интеллект и транспорт: новые технологии безопасности и комфорта / А. А. Сергеев, М. С. Кобякова, М. А. Донец, В. М. Коробова // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения) : Сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 16–17 апреля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 225-227.

3. Колесников, С. Е. эволюция банковских услуг в условиях цифровизации экономики / С. Е. Колесников, В. М. Коробова // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 11–12 июля 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 363-366. – EDN JEAGND.

4. Колесников, С. Е. Значение БРИКС в трансформации глобального экономического порядка / С. Е. Колесников, Н. А. Сергеев // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 11–12 июля 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 366-369. – EDN AXCTFR.

5. Колесников, С. Е. Разработка и применение ИТ-моделей для анализа и управления аграрными процессами / С. Е. Колесников, В. В. Орлова // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : Сборник X Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, посвященный 90-летию Новосибирского ГАУ, Новосибирск, 04–05 декабря 2025 года. –

УДК 004.8

¹Колесников С.Е.

Научный руководитель: ²Обухов М.Н., канд. с/х наук, доц.

¹ Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

² Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Россия

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОЭНКОДЕРОВ

Методы обнаружения аномалий в технических системах представляют собой одно из ключевых направлений современной информационной науки, особенно в контексте цифровизации промышленности, развития киберфизических систем и внедрения концепции Индустрии 4.0. Повышение сложности технических объектов, рост объёмов телеметрических данных и необходимость обеспечения высокой надёжности функционирования обуславливают актуальность разработки интеллектуальных методов диагностики. Классические статистические подходы, основанные на предположении о стационарности процессов и нормальности распределений, зачастую оказываются недостаточно эффективными при работе с высокоразмерными и нелинейными данными. В этой связи методы машинного обучения, и в частности нейросетевые архитектуры, демонстрируют значительные преимущества. Одним из наиболее перспективных инструментов в данной области являются автоэнкодеры, позволяющие выявлять скрытую структуру данных и обнаруживать отклонения от нормального поведения системы [1].

Автоэнкодер представляет собой тип нейронной сети, обучаемой без учителя, целью которой является восстановление входных данных на выходе через сжатое латентное представление. Архитектурно он состоит из двух основных компонентов: кодировщика и декодировщика. Кодировщик отображает входной вектор размерности n в скрытое пространство меньшей размерности k , где k существенно меньше n , а декодировщик выполняет обратное преобразование. Формально процесс можно описать следующим образом: $z = f(x)$, где f – функция кодировщика, а восстановление осуществляется как $x' = g(z)$, где g – функция декодировщика. Обучение автоэнкодера заключается в

минимизации функции потерь, чаще всего среднеквадратичной ошибки вида

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x'_i)^2 \quad (1)$$

В процессе обучения сеть извлекает наиболее информативные признаки, игнорируя шум и избыточность данных [2].

Ключевая идея применения автоэнкодеров для обнаружения аномалий заключается в том, что модель обучается на данных, отражающих нормальное функционирование системы. Поскольку автоэнкодер оптимизируется для восстановления именно нормальных паттернов, при подаче на вход аномальных данных ошибка реконструкции существенно возрастает. Таким образом, критерий аномальности может быть задан через пороговое значение ошибки восстановления. Если для некоторого наблюдения выполняется условие $L(x, x') > T$, где T – эмпирически или статистически определённый порог, то такое наблюдение классифицируется как аномалия.

Практическая реализация данного подхода требует учёта ряда факторов, связанных с особенностями технических систем. Во-первых, телеметрические данные зачастую имеют временную структуру, что требует использования модификаций автоэнкодеров, способных учитывать временные зависимости. К таким моделям относятся рекуррентные автоэнкодеры, основанные на архитектурах LSTM или GRU. Например, при анализе временных рядов длиной 100 шагов и размерности признакового пространства 20, входной тензор имеет размер 100 на 20, и модель должна учитывать как межпризнаковые, так и временные корреляции. Использование LSTM-слоёв позволяет захватывать долгосрочные зависимости, что критично для выявления сложных аномалий.

Во-вторых, важную роль играет нормализация данных. В условиях, когда различные сенсоры измеряют параметры в разных диапазонах (например, температура в диапазоне от 0 до 100 градусов и давление в диапазоне от 0 до 10 бар), отсутствие нормализации может привести к доминированию одних признаков над другими. На практике применяется масштабирование, например, Min-Max нормализация или стандартизация до нулевого среднего и единичного стандартного отклонения. Это обеспечивает корректную работу функции потерь и ускоряет сходимость обучения [3].

Рассмотрим количественный пример. Пусть имеется техническая система, оснащённая 50 датчиками, генерирующими данные с частотой 1 Гц. За сутки формируется 86400 наблюдений, каждое из которых

представляет собой вектор размерности 50. При обучении автоэнкодера на выборке из 30 дней общее количество обучающих примеров составляет 2 592 000. При этом размер латентного пространства может быть выбран равным 10–15, что обеспечивает сжатие данных примерно в 3–5 раз. В процессе обучения достигается среднеквадратичная ошибка реконструкции порядка 0.002–0.005 (в нормализованном пространстве). При появлении аномалий ошибка возрастает до значений 0.02–0.1, что позволяет уверенно отделять аномальные состояния от нормальных.

Отдельного внимания заслуживает выбор порогового значения T . Существует несколько подходов к его определению. Один из наиболее распространённых заключается в использовании статистических характеристик распределения ошибки на обучающей выборке. Например, можно задать $T = \mu + 3\sigma$, где μ – среднее значение ошибки, а σ – стандартное отклонение. При нормальном распределении это соответствует уровню доверия около 99.7%. Альтернативный подход основан на использовании процентилей, например, выбор порога на уровне 95-го или 99-го перцентиля. В реальных задачах часто применяется гибридный подход с дополнительной калибровкой на валидационной выборке, содержащей размеченные аномалии [4].

Сравнение автоэнкодеров с традиционными методами выявляет их преимущества. Например, методы на основе главных компонент (PCA) также выполняют снижение размерности, однако они ограничены линейными зависимостями. В отличие от них, автоэнкодеры способны моделировать сложные нелинейные структуры, что особенно важно в технических системах с нелинейной динамикой. В экспериментальных исследованиях было показано, что точность обнаружения аномалий (метрика ROC-AUC) для PCA составляет около 0.75–0.85, тогда как для автоэнкодеров достигает 0.9–0.97 при аналогичных условиях.

Дополнительным направлением развития являются вариационные автоэнкодеры, которые вводят вероятностную интерпретацию латентного пространства. В таких моделях кодировщик формирует параметры распределения (среднее и дисперсию), а латентный вектор выбирается случайным образом. Это позволяет более устойчиво моделировать распределение нормальных данных и повышает способность к генерализации. В задачах обнаружения аномалий вариационные автоэнкодеры демонстрируют снижение ложноположительных срабатываний на 10–15% по сравнению с классическими архитектурами.

Не менее важным аспектом является вычислительная сложность. Обучение автоэнкодеров требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при работе с большими объёмами данных.

Например, модель с тремя скрытыми слоями по 128, 64 и 32 нейрона при обучении на выборке объемом 1 миллион примеров может требовать порядка 10^9 операций умножения. Использование графических процессоров позволяет сократить время обучения с нескольких часов до десятков минут. При этом для онлайн-детекции аномалий важно обеспечить низкую задержку инференса, что достигается оптимизацией архитектуры и использованием методов квантизации.

Практическое применение автоэнкодеров охватывает широкий спектр технических систем. В энергетике они используются для диагностики состояния турбин и трансформаторов, где раннее обнаружение отклонений позволяет предотвратить аварии и снизить затраты на обслуживание. В транспортных системах автоэнкодеры применяются для анализа состояния подвижного состава, включая мониторинг вибраций и температурных режимов. В промышленности они используются для контроля технологических процессов, например, в химическом производстве, где отклонения параметров могут привести к браку продукции или аварийным ситуациям.

Важной задачей остаётся интерпретируемость результатов. Несмотря на высокую эффективность, автоэнкодеры часто рассматриваются как «чёрный ящик». Для повышения прозрачности используются методы анализа вклада признаков, такие как градиентные методы или SHAP-значения. Это позволяет определить, какие именно параметры системы в наибольшей степени повлияли на рост ошибки реконструкции. В практических сценариях это существенно облегчает диагностику и принятие управленческих решений [5].

Таким образом, использование автоэнкодеров для обнаружения аномалий в технических системах представляет собой мощный и гибкий инструмент, способный эффективно работать с высокоразмерными и нелинейными данными. Экспериментальные и практические результаты подтверждают их высокую точность, достигающую 90–97% при корректной настройке модели и данных. В то же время остаются задачи, связанные с оптимизацией архитектур, снижением вычислительных затрат и повышением интерпретируемости. Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с интеграцией автоэнкодеров в комплексные системы мониторинга, использованием гибридных моделей и развитием методов самообучения, что позволит ещё более повысить надёжность и эффективность технических систем в условиях цифровой трансформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Искусственный интеллект и транспорт: новые технологии безопасности и комфорта / А. А. Сергеев, М. С. Кобякова, М. А. Донец, В. М. Коробова // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения) : Сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 16–17 апреля 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 225-227.

2. Сергеев, А. А. Сравнение операционных систем персональных компьютеров / А. А. Сергеев // Менеджмент в социальных и экономических системах : Сборник докладов XVI Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Пенза, 15–16 ноября 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 310-313.

3. Бунчиков, О. Н. Управление бизнес-процессами: оптимизация и автоматизация для повышения эффективности / О. Н. Бунчиков, А. А. Сергеев, М. А. Донец // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 29–30 ноября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 163-167.

4. Искусственный интеллект и аналитика данных в онлайн-медиации / А. А. Сергеев, С. О. Гапон, М. А. Донец, В. М. Коробова // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций : Сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 10–11 октября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 387-391.

5. Сергеев, А. А. Управление маркетинговыми рисками / А. А. Сергеев, М. А. Донец, А. В. Лихоманова // Горизонты науки : Сборник научных статей по материалам докладов и сообщений VII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, Смоленск, 26 апреля 2023 года. Том Выпуск 7. – Смоленск: Смоленский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», 2023. – С. 549-552.

¹Крутикова М.А., ²Серых В.Д.

¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

АНАЛИЗ АВАРИЙ – КЛЮЧ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В промышленном и гражданском строительстве активно применяются многопролетные стержневые конструкции: фермы покрытий, рамные каркасы, многопролетные балки перекрытий, пролетные строения мостов и другие. Такие системы обеспечивают большие свободные пространства без промежуточных опор. При этом их масштабность и сложность взаимодействия элементов повышают риски прогрессирующего разрушения при аварии. Анализ случаев аварий позволяет выявить системные ошибки и разработать меры по повышению живучести конструкций – способность сохранять несущую способность при запроектных воздействиях.

Изучение реальных случаев разрушения конструкций дает возможность [1]:

- выявить наиболее уязвимые узлы и элементы, такие как опорные соединения, стыки поясов ферм, зоны концентрации напряжений;
- оценить последствия отступлений от проектных решений, включая ошибки при монтаже связей, ослабление сечений и дефекты сварных швов;
- учесть влияние запроектных нагрузок, например, снеговых скоплений, вибраций от оборудования и температурных деформаций;
- внедрить конструктивные меры, повышающие живучесть сооружений: дублирование ответственных элементов, создание альтернативных путей передачи усилий и усиление критических узлов;
- скорректировать регламенты технического обслуживания и уточнить критерии браковки элементов.

Рассмотрим инциденты аварий и разрушений многопролетных стержневых конструкций имевших место в строительной практике.

В 2002 году произошло обрушение крыши монтажно-испытательного корпуса (МИК) на космодроме «Байконур». В результате трагедии погибли 8 человек, были уничтожены космический корабль «Буран» и другие объекты. Причинами стали превышение

фактической нагрузки на кровлю в 1,5 раза по сравнению с проектной, отклонения от проекта при строительстве в 1967 году и снижение прочности железобетонных плит кровли за период эксплуатации [2].

В 2004 году обрушилась крыша аквапарка «Трансвааль-парк». Кровля не выдержала снеговой нагрузки из-за серьезных ошибок в проектировании купольных конструкций. Специалисты неверно рассчитали несущую способность перекрытия, а слабые места конструкции остались незамеченными как у проектировщиков, так и при прохождении государственной экспертизы [3].

В феврале 2006 года в Москве произошло обрушение крыши Басманного рынка, расположенного в одноименном районе. Трагедия унесла жизни 68 человек, еще 33 получили травмы различной степени тяжести. Причиной катастрофы стало сочетание конструктивных ошибок, связанных с недостаточной жесткостью опорных узлов, и неучета снеговых нагрузок, усугубившихся из-за нарушений эксплуатации здания [4].

Также провели анализ аварий конвейерных галерей на объектах горнодобывающей отрасли. Данный анализ показывает, что подавляющее большинство инцидентов связано с совокупным воздействием нескольких факторов. Прежде всего, это коррозионное разрушение сварных соединений в критически важных узлах (например, в местах крепления раскосов к нижнему поясу конструкций фермы). Параллельно на состояние металлоконструкций влияют динамические нагрузки от непрерывной работы конвейера. Кроме того, сама конструктивная форма ряда элементов зачастую не учитывает необходимость эффективного отвода влаги и защиты от агрессивных сред, что ускоряет образование и развитие очагов коррозии [5].

Анализируя аварии, можно сформулировать ряд рекомендаций по повышению живучести многопролетных стержневых конструкций:

1. Необходимо уделять особое внимание опорным и соединительным узлам, стыкам поясов ферм, а также зонам концентрации напряжений. Рекомендуется использовать дополнительные накладки, ребра жесткости и другие конструктивные решения, повышающие прочность и устойчивость.

2. Введение резервных (дублирующих) элементов и создание альтернативных путей передачи усилий позволяет конструкции сохранять несущую способность даже при локальном разрушении одного из элементов.

3. В процессе проектирования и эксплуатации сооружений необходимо принимать во внимание не только нормативные проектные нагрузки, но и потенциальные запроектные воздействия, такие как

скопления снега, вибрационные нагрузки от работающего оборудования, температурные деформации конструкций и иные динамические факторы [6].

4. В процессе реализации строительных проектов необходимо неукоснительно следовать утвержденным проектным решениям и исключать любые отклонения на этапе монтажа. Ключевым условием долговечности и живучести конструкций является систематическое техническое обслуживание, включающее диагностику состояния элементов и своевременный ремонт. Особое внимание при этом следует уделять качеству сварных соединений, эффективности антикоррозионной защиты и общему состоянию конструктивных узлов.

5. Внедрение систем непрерывного мониторинга состояния конструкций, оснащенных датчиками деформаций, вибраций и коррозии, обеспечивает возможность раннего обнаружения дефектов и их оперативной ликвидации, что существенно снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

6. Результаты анализа аварийных ситуаций необходимо использовать для актуализации нормативной документации: уточнения требований к этапам проектирования, строительства, технического обслуживания, а также критериев браковки конструктивных элементов [7].

Системное применение предусмотренных мер является необходимым условием для обеспечения повышения живучести и увеличения срока службы многопролетных стержневых конструкций в условиях реальных эксплуатационных нагрузок [8].

Таким образом, анализ реальных разрушений выявляет системные проблемы: от недоучета климатических нагрузок до дефектов монтажа. Полученные данные позволяют совершенствовать проектирование – усиливать критические узлы, вводить резервирование несущих элементов и внедрять системы раннего предупреждения повреждений, повышая тем самым живучесть и безопасность сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроняев О. И., Мартынюк В. Ф. О применении метода «Анализ опасности и работоспособности» при анализе риска аварий на производственных объектах // Безопасность жизнедеятельности. 2023. № 11(275). С. 41-47.

2. Колчеданцев Л. М., Ульшин А. Н. Повышение комплексной технологичности стальной стержневой конструкции путем

совершенствования конструктивно-технологического решения // Жилищное строительство. 2015. № 1. С. 27-29.

3. Алдушкин Р. В. Развитие и совершенствование рациональных методов усиления и регулирования усилий в металлических конструкциях балочного типа и фермах: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Орел, 2008. 175 с.

4. Бессонов С. Н., Солодов Н. В. Живучесть пространственных решетчатых конструкций из труб типа «Кисловодск» при расчете на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 76-80.

5. Солодов Н. В., Водяхин Н. В. Комбинированные соединения строительных металлоконструкций: условия и факторы их работы и деформативности // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 3(71). С. 11-21.

6. Вышеслава Н. А. Объективная характеристика конструктивной (механической) безопасности зданий и сооружений // VII Международный студенческий строительный форум - 2022: Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума, Белгород, 24 ноября 2022 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 28-33.

7. Фокин Д. С. Механизмы разрушения стальных балок при воздействии локальных нагрузок // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 6. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 382-385.

8. Крутикова М. А. Защита металлических конструкций от коррозии // Образование. Наука. Производство: XIII Международный молодежный форум, Белгород, 08–09 октября 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 838-841.

¹Нестерова Д.И.Научный руководитель: ²Обухов М.Н., канд. с.-х наук, доц.¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург, Россия²Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА МЕТОДОМ БОКСА–УИЛСОНА

Оптимизация условий химического синтеза представляет собой многомерную задачу, в которой необходимо определить такие значения управляющих факторов, при которых целевая функция отклика достигает экстремума. В условиях многопараметрических систем применение классических методов последовательного варьирования одного фактора является неэффективным и не учитывает взаимодействия между переменными. В этой связи особое значение приобретают методы математического планирования эксперимента, среди которых метод Бокса–Уилсона занимает ключевое место. Данный метод основан на построении локальной аппроксимации функции отклика и использовании градиентного подхода для поиска оптимума. Его применение в химии позволяет формализовать процесс оптимизации и существенно снизить экспериментальные затраты [1].

Пусть отклик системы обозначен как Y и зависит от k факторов $X_1, X_2, \dots, X_k$. В окрестности выбранной точки функция отклика аппроксимируется линейной регрессионной моделью вида $Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_k * X_k$. Коэффициенты b_i оцениваются по результатам факторного эксперимента, как правило, реализуемого в виде полного или дробного двухуровневого плана. Например, для двух факторов X_1 и X_2 матрица эксперимента включает комбинации уровней $(-1, +1)$, а оценка коэффициентов осуществляется по формулам

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{i1} Y_i \quad (2)$$

$$b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{i2} Y_i \quad (3)$$

где N – число экспериментов, а X_{i1}, X_{i2} – кодированные значения факторов.

Градиент функции отклика определяется как вектор частных производных, который в линейной модели имеет вид $\nabla Y = (b_1, b_2, \dots,$

bk). Это направление соответствует наискорейшему возрастанию отклика. В методе Бокса–Уилсона осуществляется движение в факторном пространстве вдоль этого направления. При этом шаг изменения факторов определяется пропорционально коэффициентам регрессии, то есть $\Delta X_i = \lambda * b_i$, где λ – коэффициент масштабирования, выбираемый исходя из допустимых диапазонов изменения факторов. Таким образом, новая точка эксперимента определяется как $X_i(\text{нов}) = X_i(\text{стар}) + \lambda * b_i$.

Для иллюстрации рассмотрим пример с двумя факторами, температурой X_1 и концентрацией реагента X_2 . Пусть в результате эксперимента получена модель $Y = 75 + 4 * X_1 + 2 * X_2$. Тогда направление крутого восхождения определяется вектором (4, 2). Выбирая шаг $\lambda = 0.5$, получаем изменения факторов $\Delta X_1 = 2$, $\Delta X_2 = 1$. Следовательно, последовательность экспериментов будет проводиться с увеличением температуры на 2 условные единицы и концентрации на 1 единицу на каждом шаге. Эксперимент продолжается до тех пор, пока наблюдается рост отклика Y .

После достижения области, в которой дальнейшее движение не приводит к увеличению отклика, проводится уточнение модели с использованием квадратичной аппроксимации [2]. В этом случае функция отклика описывается уравнением

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k b_{ij} X_i X_j \quad (4)$$

где b_{ii} – коэффициенты при квадратичных членах, а b_{ij} – коэффициенты взаимодействия факторов. Для двух факторов модель принимает вид

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{11} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (5)$$

Оптимум функции определяется из условия равенства нулю градиента, то есть система уравнений $dY/dX_1 = b_1 + 2 * b_{11} * X_1 + b_{12} * X_2 = 0$ и $dY/dX_2 = b_2 + 2 * b_{22} * X_2 + b_{12} * X_1 = 0$. Решение этой системы позволяет найти координаты стационарной точки. Например, если $b_1 = 4$, $b_2 = 2$, $b_{11} = -1$, $b_{22} = -0.5$, $b_{12} = 0$, то система принимает вид $4 - 2X_1 = 0$ и $2 - X_2 = 0$, откуда $X_1 = 2$ и $X_2 = 2$. В данной точке достигается максимум функции, что подтверждается отрицательными значениями коэффициентов при квадратичных членах.

Для оценки адекватности модели используется дисперсионный анализ. Общая дисперсия раскладывается на дисперсию регрессии и остаточную дисперсию. Критерий Фишера определяется как $F = \text{Sper} / \text{Sост}$, где Sper – средний квадрат регрессии, Sост – средний квадрат ошибки. Если рассчитанное значение F превышает табличное, модель считается адекватной. Значимость отдельных коэффициентов

проверяется по критерию Стьюдента $t_i = b_i / S_{b_i}$, где S_{b_i} – стандартная ошибка коэффициента.

В химической практике метод Бокса–Уилсона широко применяется для оптимизации условий синтеза органических соединений, каталитических процессов и фармацевтических субстанций. Например, при оптимизации реакции этерификации факторами могут выступать температура, время реакции и концентрация катализатора. Использование описанного метода позволяет определить оптимальные условия, при которых достигается максимальный выход эфира при минимальных энергетических затратах.

Включение математического аппарата в метод Бокса–Уилсона позволяет формализовать процесс оптимизации и повысить точность определения оптимальных условий синтеза. Использование линейных и квадратичных моделей, градиентных методов и статистических критериев обеспечивает комплексный подход к анализу химических процессов [3]. Практическая значимость метода заключается в его универсальности и возможности адаптации к различным типам химических систем. В современных условиях интеграция данного метода с вычислительными технологиями и алгоритмами обработки данных открывает новые перспективы для повышения эффективности химического производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савинова, А. А. Использование биохимических реагентов и их классификация / А. А. Савинова, А. А. Сергеев // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России : Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 23–24 января 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 227-229.

2. Бунчиков, О. Н. Управление бизнес-процессами: оптимизация и автоматизация для повышения эффективности / О. Н. Бунчиков, А. А. Сергеев, М. А. Донец // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 29–30 ноября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 163-167.

3. Меджидов, Э. Е. Биохимия крови / Э. Е. Меджидов, А. А. Савинова, А. А. Сергеев // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Пенза, 30 ноября 2022 года / Под научной

редакцией А.В. Носова. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 314-318.

УДК 62-932.2

***¹Усачев Д.В., ¹Коломыцева С.В., ²Чуева Ю.А.
Научный руководитель: Чуев К.В., ст. преп. каф.***

*¹-Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

²-Белгородский политехнический колледж, г. Белгород, Россия

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К УТИЛИЗАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН

Проблема утилизации изношенных автомобильных шин является одной из наиболее актуальных экологических задач современности. Ежегодно в мире образуются миллионы тонн отходов резинотехнических изделий, которые при неправильном обращении наносят серьезный ущерб окружающей среде. Наряду с традиционными промышленными методами переработки (измельчение в крошку, пиролиз, регенерация), существуют альтернативные подходы к утилизации шин, находящиеся на разных стадиях развития и внедрения. К ним относятся биологическая деградация с использованием микроорганизмов, применение целых шин в строительных и инженерных сооружениях, а также постепенно устаревающий метод захоронения на полигонах. Рассмотрение этих подходов позволяет оценить их эффективность, экологическую безопасность и перспективы дальнейшего использования в системе обращения с отходами.

Помимо основных промышленных способов переработки, существуют альтернативные подходы к утилизации изношенных автомобильных шин, которые находятся на разных стадиях развития и внедрения. Каждый из этих методов имеет свои особенности, преимущества и ограничения, что определяет их место в общей системе обращения с отходами резинотехнических изделий.

Одним из наиболее перспективных направлений является биологическая деградация — метод, основанный на использовании специализированных микроорганизмов, способных разлагать резиновые компоненты шин. Исследования в этой области показывают, что некоторые виды бактерий и грибов могут метаболизировать углеводороды, входящие в состав резины, превращая их в безопасные соединения. Однако, несмотря на значительный потенциал, технология биологической деградации в настоящее время находится в стадии

активной разработки и лабораторного тестирования. Основными проблемами остаются низкая скорость разложения, сложность контроля процесса в промышленных масштабах и необходимость создания оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов. Тем не менее, ученые прогнозируют, что в долгосрочной перспективе этот метод может стать экологически чистой альтернативой существующим технологиям [1].

Другим подходом, получившим определенное распространение, является применение целых шин в строительстве и инженерных сооружениях. Этот способ следует рассматривать как временное решение, позволяющее отсрочить необходимость утилизации и дать шинам вторую жизнь без сложной переработки. Целые покрышки используются при создании волнорезов и берегозащитных сооружений, где они эффективно гасят энергию волн благодаря своей упругости и устойчивости к агрессивной водной среде. В гражданском строительстве шины применяются для возведения подпорных стенок, армирования откосов и насыпей, а также в качестве элементов шумозащитных экранов вдоль автомобильных трасс. В ландшафтном дизайне из покрышек создают декоративные элементы, малые архитектурные формы и даже целые игровые комплексы. Хотя такое использование не является переработкой в полном смысле слова, поскольку шины не преобразуются в сырье, оно позволяет сократить объемы складываемых отходов и дает материал для реализации различных инженерных и дизайнерских решений.

Наименее экологичным и постепенно выводимым из практики методом остается захоронение на полигонах (Рис.1). Этот способ, длительное время доминировавший в сфере обращения с отходами, сегодня подвергается серьезной критике по целому ряду причин. Шины, захороненные в земле, разлагаются десятилетиями, выделяя в почву и грунтовые воды токсичные соединения — канцерогены и тяжелые металлы. Кроме того, они занимают значительные объемы полигонного пространства, снижая эффективность использования земельных ресурсов. Еще одна серьезная проблема — высокая пожароопасность: возгорания на полигонах шин происходят часто, а тушить их чрезвычайно сложно, при горении выделяется огромное количество токсичного дыма и сажи. В развитых странах законодательство поэтапно запрещает захоронение шин, стимулируя переход к перерабатывающим технологиям. В России также наблюдается ужесточение требований: расширяется ответственность производителей за утилизацию, растут экологические сборы, что

побуждает участников рынка искать более цивилизованные способы обращения с отходами.



Рис.1. Полигон захоронения обработанных шин

В совокупности проведенного анализа следует заключить, что каждый из рассмотренных подходов к утилизации изношенных автомобильных шин обладает как определенными преимуществами, так и технологическими или экономическими ограничениями. Биологическая деградация открывает перспективы экологически чистой переработки, но требует дальнейших исследований. Использование целых шин в строительстве дает немедленное практическое применение, однако не решает проблему окончательной утилизации. Захоронение на полигонах, напротив, постепенно уходит в прошлое как не отвечающее современным экологическим требованиям.

Особого внимания заслуживает диаграмма, представленная на Рис. 2, которая отражает структуру методов утилизации резинотехнических изделий в мире по состоянию на 01.05.2025 года, согласно данным источника [2]. Анализ диаграммы показывает, что значительную часть утилизации изношенных шин и резинотехнических изделий по-прежнему занимают экологически неблагоприятные процессы: складирование на полигонах составляет 53 % от общего объема, а простое сжигание — 20 %. Эти методы, доминирующие в общей структуре, не позволяют эффективно использовать ценные вторичные ресурсы, содержащиеся в шинах (резина, металл, текстиль), и приводят к дополнительной нагрузке на окружающую среду в виде загрязнения почв, вод и атмосферы. Представленные данные наглядно демонстрируют необходимость дальнейшего развития и внедрения перерабатывающих технологий, способных изменить сложившуюся ситуацию в сторону более рационального использования ресурсов и снижения экологического ущерба.

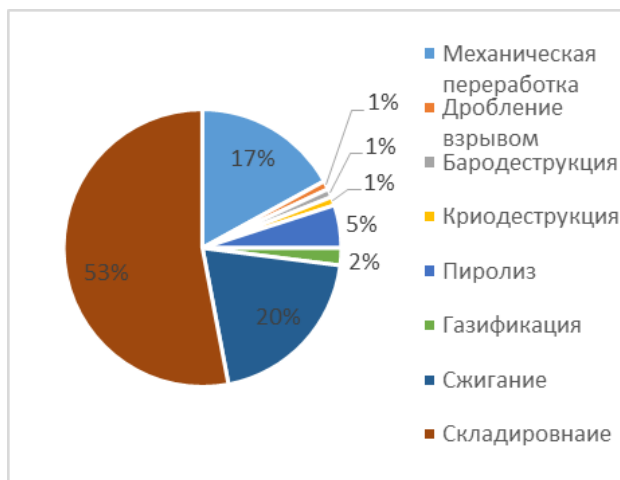


Рис. 2. Методы утилизации РТИ

Проведенный анализ альтернативных подходов к утилизации изношенных автомобильных шин показывает, что ни один из рассмотренных методов не является универсальным решением проблемы: биологическая деградация, несмотря на экологическую привлекательность, остается лабораторной технологией, требующей дальнейших исследований; использование целых шин в строительстве позволяет временно снизить нагрузку на полигоны, однако не решает проблему окончательной утилизации и не возвращает ценные материалы в оборот; захоронение на полигонах, традиционно доминировавшее в практике, сегодня признается экологически опасным и постепенно вытесняется в развитых странах. Приведенные статистические данные (53 % захоронения и 20 % сжигания) демонстрируют, что человечество пока далеко от решения проблемы экологически приемлемыми способами, что указывает на необходимость совершенствования технологий и создания экономических стимулов для перехода от захоронения к переработке. Только комплексный подход, сочетающий развитие перерабатывающих мощностей, совершенствование законодательства и повышение экологической ответственности, способен обеспечить переход к экономике замкнутого цикла в сфере обращения с изношенными шинами.

БИБЛИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуев К.В., Кравченко В.М., Мутовалов Э.А. Основные виды утилизации резинотехнических изделий // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодежного форума. Белгород: Изд-во Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, – 2023. – С. 49–52.
2. Пат. 201698 U1 Российская Федерация, МПК В29В 17/02 Установка для для удаления троса из боковой части шины при утилизации / В. Я. Дуганов, Н. А. Архипова, К. В. Чуев, Ю. А. Чуева – Опубл. 28.12.2020
3. Кравченко, В. М. Анализ основных технологических схем и линий по переработке и утилизации резинотехнических изделий / С. Ю. Лозовая, В. М. Кравченко, Н. М. Лозвой, Я. П. Топчий // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: Межвузовский сборник статей. – Белгород: Изд-во. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, – 2021. – Том Выпуск XX – С. 104-109.
4. Чуев К.В. Предварительная разделка изношенных шин / К.В. Чуев // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XV Международного молодёжного форума. Белгород, Белгород: Изд-во. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, – 2023. – С. 45–48.
5. Дуганов В.Я., Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин / Дуюн Т.А., Чуев К.В., Архипова Н.А., Кравченко В.М., Чуева Ю.А.// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 11. – С. 103–112.

УДК 67.02;621.926.5

*Абдуллажонов А.А., Науменко В.В., Хохлов Д.О., Калашиник И.А.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ

Изучением степени однородности занимались Ю. А. Веригин и, С. В. Толстеньев, которые в своих исследованиях продолжили школу М. В. Бунина. Они утверждают, что строительные смеси высокой однородности могут быть получены при качественных исходных

компонентах, эффективном и надежном дозировочном и смесительном оборудовании.

Качество смесей зависит от частоты вращения рабочего органа смесителя, физико-механических свойств исходных компонентов, продолжительности процесса перемешивания.

С целью получения однородных смесей частицам исходных компонентов необходимо сообщить такие траектории движения, которые обеспечивали бы наибольшую возможность их пересечения в корпусе смесителя[1,2].

Процессу перемешивания частиц таких компонентов, противодействуют силы инерции, силы внутреннего трения (трения частиц друг относительно друга) и силы внешнего трения (трение частиц о корпус и лопасти смесителя). Кроме того, при смешивании преодолеваются силы тяжести, стремящиеся опустить зерна мелкого и крупного заполнителя вниз, что способствует расслоению смеси.

Важнейшей количественной характеристикой процесса смесобразования является его скорость, под которой понимается количество частиц A какого-либо компонента, поступающего в смеситель в единицу времени. При постоянном объеме смешиваемых компонентов скорость процесса характеризуется скоростью изменения концентрации компонента A в несущей среде за единицу времени, при заранее определенном математическом ожидании. В таком случае степень однородности можно представить как:

$$C_1 = 1 - \left[e^{-kF(1-e)^{-ta}} \right]^{\frac{V}{V_0}} \quad (1)$$

Или

$$C = \frac{1}{h} \int_0^h \left(\frac{W-W_1}{W_1} \right) dz \quad (2)$$

где F - максимально возможная поверхность раздела твердых фаз;

V- число единиц объема, содержащих один из смешиваемых компонентов;

V_0 - объем пробы;

k - коэффициент вероятности;

C_1 - степень однородности материала;

t - время смешивания;

a - коэффициент пропорциональности;

z - текущая координата отбора пробы;

W_1 - оптимальная концентрация компонентов смеси;

W - текущая концентрация;

h - толщина сечения слоя смеси.

В исследованиях процесса смешивания возрос интерес, поднятый П. В. Зозулей к вопросам свойств мелкого и крупного заполнителя как основной составляющей растворяемых композиций[3].

Решение задачи качества заполнителя и наполнителя строительных смесей на современном уровне материаловедения должно базироваться на определении роли степени однородности относительно основных факторов:

$$C = f(v, t, б, ф, ш) \quad (3)$$

где v - скорость вращения рабочего органа,
 t - время перемешивания,
 $б$ - гранулометрический состав,
 $ф$ - форма зерен,
 $ш$ - оценка шероховатости их поверхности.

Такой подход позволяет избежать ошибок, обусловленных попытками оптимизации состава смесей на основе только отдельных из названных характеристик.

Характер формы и шероховатость поверхности зерен также имеют определяющее значение для реологии дисперсных систем.

Стандарт для оценки формы частиц заполнителя предлагает пользоваться такой характеристикой, как коэффициент угловатости (Ку_г). Он может быть представлен зависимостью:

$$K_{уг} = \frac{S_{факт}}{S_{\frac{m}{m}}} \quad (4)$$

где $S_{факт}$ - фактическая удельная поверхность, м²/кг;

$S_{\frac{m}{m}}$ - теоретическая удельная поверхность, м²/кг;

Фактическая удельная поверхность заполнителя определяется по методу газопроницаемости, а теоретическая удельная поверхность рассчитывается по формуле:

$$S_m = \frac{6}{\rho_1} \sum_{i=n}^6 \frac{X_i}{D_i} \quad (5)$$

где ρ_1 - теоретическая плотность зерен заполнителя;

X_i - доля заполнителя на (i) сите от общей массы заполнителя, взятая для определения гранулометрического состава;

D_i - средний диаметр зерен одной фракции, м, вычисленной по формуле:

$$D_i = \frac{D_n + (D_n + 1)}{2} \quad (6)$$

где D_n - размер ячейки сита, через которое прошла фракция заполнителя, м;

$(D_n + 1)$ - размер ячейки сита, на котором фракция заполнителя осталась, м.

В зарубежной технической литературе Ю. Сторк, М. Рейнольд и А. Мюллер в качестве характеристик формы зерен использовали аналогичные подходы. Так, фактор Хейвуда (Heywoodfaktor) представляет собой параметр, определяемый как отношение измеренной удельной поверхности к удельной поверхности, рассчитанной, исходя из представлений об эквивалентном диаметре частиц в виде правильных сфер. Такая оценка соответствует описанному выше коэффициенту угловатости, и значение фактора, как и $K_{уг}$, для реальных песков >1 . При этом, следует обращать внимание на влияние на степень однородности размеров заполнителя и его процентного содержания в смеси [4,5].

Таким образом, оценка качества бетонной смеси с помощью совмещения зависимостей (1) и (10) в дальнейшем представляет интерес и требует дальнейшего развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технология производства строительных материалов. – М.: Выш. Шк.. 1990.- 446с.:ил.
2. Богомолов А.А., Бунин М.В. Анализ влияния конструкции бетоносмесителей на однородность смеси. – В кн.: Конструирование и динамическое исследование узлов механического оборудования предприятий строительных материалов. – Тр. Моск. Инж.-строит. Ин-т и Белгород. Технолог. Ин-т строит. матер., 1974 вып 2. С. 51-60
3. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Чемеричко Г.И., Оноприенко Ю.С. Интенсификация процесса смешивания в смесителях принудительного действия // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 139–142.
4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Каторгин И.С., Скворцов Д.С. Создание математической модели комплексного процесса смешивания в смесителях непрерывного

действия// Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 180–184.

5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Белозерских И.В., Индинченко А.В. Методы и критерии оценки бетонных смесей и эффективности процесса смешивания в лопастных смесителях// Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXIV. – 2025. – С. 96–99.

УДК 628.852.2

Александров Л.И.

Научный руководитель: Фёдоров А.В., ст. преп.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск, Россия*

МИКРОКЛИМАТ ОСТЕКЛЕННОЙ ЛОДЖИИ В МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ ПРИ РАБОТЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КВАРТИРЫ

В современном жилищном строительстве, в частности в Республика Саха (Якутия), наличие балконов и лоджий у каждой квартиры рассматривается как эффективный способ повышения уровня комфортности проживания [1].

На сегодняшний день множество научных работ посвящено изучению энергосберегающего эффекта остекленных балконов [1-4], которые формируют замкнутое воздушное пространство, образуя отдельный микроклимат. Это в свою очередь снижает уровень внешнего шума, снижает запыленность.

При организации естественной приточной вентиляции посредством стеновых приточных клапанов, выходящих на остекленную лоджию, забор наружного воздуха осуществляется из воздушного пространства лоджии, характеристики которого существенно отличаются от параметров наружного уличного воздуха.

Так, согласно ГОСТ Р 70824–2023 «Устройство систем вентиляции многоквартирных жилых зданий», при остеклении лоджии квартир для обеспечения дополнительного притока свежего воздуха требуется предусматривать: «...*дополнительные приточные регулируемые клапаны в переплетах остеклений лоджий*...». Однако в массовой

практике это требование подменяется простым открыванием створок остекления, что логично противопоставляет принципам вышеупомянутого энергосберегающего эффекта остекленных лоджий.

Известно, что располагаемое давление вентиляционного канала складывается из гравитационного и ветрового давления на рассматриваемое здание. В случае с квартирами, расположенными на последних двух этажах и имеющими индивидуальные вытяжные каналы [5], влияние гравитационного давления снижается за счет уменьшения разницы отметок между приточным устройством и оголовком шахты, особенно в переходный период, следовательно, есть риск ухудшения воздухообмена.

Согласно статье [6], потери давления в системе естественной вентиляции с индивидуальным вытяжным каналом равны:

$$\Delta p_{\text{системы}} = \Delta p_{\text{пу}} + \sum \Delta p_{\text{ов}} + \Delta p_{\text{ву}} + \Delta p_{\text{вк}} \quad (1)$$

где, $\Delta p_{\text{пу}}$, $\Delta p_{\text{ов}}$, $\Delta p_{\text{ву}}$, $\Delta p_{\text{вк}}$, - потери давления в приточных устройствах (клапанах), комнатных дверях, вытяжных устройствах, вытяжных каналах, Па.

Из формулы (1) $\Delta p_{\text{пу}}$ определяется как:

$$\Delta p_{\text{пу}} = p_{\text{ном}} \left(\frac{L_{\text{пр}} \rho_{\text{н}}}{L_{\text{ном}} \rho_{\text{ном}}} \right)^2 \quad (2)$$

где, $p_{\text{ном}}$ – номинальный перепад давления, равный 10 Па; $L_{\text{пр}}$ – фактический расход воздуха через приточный клапан, м³/ч; $L_{\text{ном}}$ – номинальный расход воздуха через приточный клапан при $p_{\text{ном}}$, м³/ч; $\rho_{\text{ном}}$ – плотность, проходящего через клапан воздуха, кг/м³.

На основе (2) можно сделать вывод, что значение потерь давления у приточных устройств, в случае их выхода на остекленную лоджию, зависит от температуры воздуха в пространстве лоджии.

Следовательно, целью настоящей работы является изучение температурного режима остекленной лоджии при функционирующей естественной приточной вентиляции квартиры.

Объектом исследования является остекленная лоджия распашной квартиры, расположенная на 15 этаже многоквартирного жилого дома. Фасадная часть остекленной лоджии ориентирована на северо-запад (Рис. 1). Площадь остекленной лоджии составляет 6 м². Лоджия имеет наружное остекление из раздвижных пластиковых окон по всей ширине. Естественная приточная вентиляция квартиры обеспечивается приточным стеновым клапаном Norvind Optima, выходящим на остекленную лоджию.

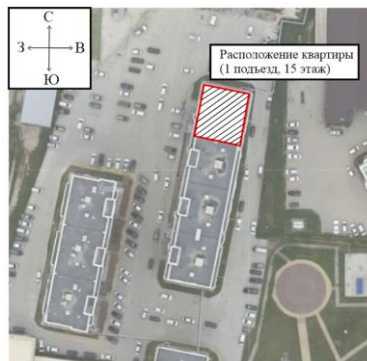


Рис. 1. Месторасположение здания в застройке

Измерение температуры воздуха в пространстве остекленной лоджии и внутреннего помещения выполнялось в течение суток в условиях естественной инсоляции с использованием термопар К-типа. Регистрация данных осуществлялась с помощью цифрового термометра-логгера CENTER 309 с интервалом записи данных в 60 секунд. Информация о температуре наружного воздуха за период наблюдения принята по данным [7]. Схема проведения исследования представлена на Рис. 2. Измеренные показания суточных температур представлены на Рис. 3.

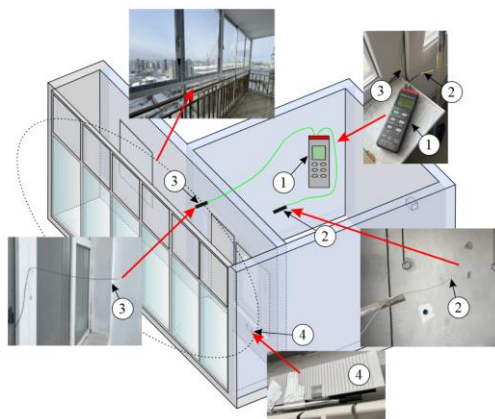


Рис. 2. Схема проведения исследования

(1 – измеритель регистратор температуры CENTER 309; 2 – датчик температуры воздуха в помещении; 3 – датчик температуры воздуха в остекленной лоджии; 4 – приточный клапан Norvind Optima)

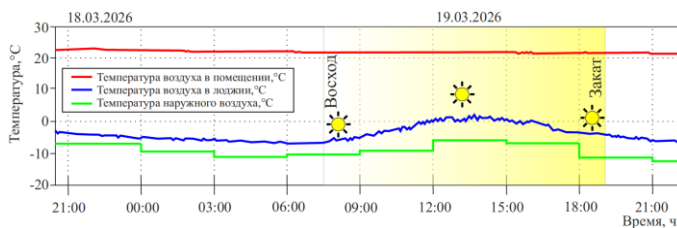


Рис. 3. Графики температур воздуха

Максимальная разница температур между внутренним помещением и лоджией достигает до 30°C, при этом температура в помещении остается стабильной (22,7-25,5°C). Температура воздуха в пространстве остекленной лоджии в период наблюдения колеблется от -7 до +1,6°C. Максимальный прогрев лоджии наблюдается во второй половине дня (13:30-14:30), что обусловлено инсоляцией через остекление. Динамика температуры воздуха на остекленной лоджии в период наблюдения коррелирует с изменениями температуры наружного воздуха, где наблюдается устойчивая разница между рассматриваемыми показателями в промежутке от 3,5 до 7°C. Данный факт свидетельствует о формировании обособленного микроклимата в пространстве остекленной лоджии, где плотность воздуха отличается от уличной. Согласно (2), это напрямую влияет на работу приточных устройств: в частности, при более высокой температуре воздуха на лоджии (по сравнению с уличной) потери давления на клапане могут снизиться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ломов, А.А. Оптимизация микроклимата в жилых зданиях с лоджиями / А. А. Ломов, А. Н. Малов, Харун Махмуд, Абу Махади // Жилищное строительство. – 2007. – № 11. – С. 12-13.
2. Гагарин, В. Г. Расчет температуры воздуха остекленной лоджии для определения энергосберегающего эффекта / В. Г. Гагарин, С. А. Широков // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 3(71). – С. 36-42.
3. Стецкий, С.В. Эстетика гражданских зданий при использовании в них стационарных солнцезащитных средств для условий жаркого климата / С.В. Стецкий // Промышленное и гражданское строительство. - 2015. – № 7. - С. 76-80.

4. Трофимов, С.П. Остекление балконов и лоджий конструктивными элементами по стандарту / С.П. Трофимов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2009. - № 24. - С. 161-164
5. Сарафанова, Ю. В. Естественная вентиляция жилых зданий / Ю.В. Сарафанова // Вестник магистратуры. – 2020. – №. 2-2 (101). – С. 60-66.
6. Бодров, В. И. Исследования применения приточных и вытяжных устройств в системах естественной вентиляции современных многоквартирных домов / В. И. Бодров, В. П. Болдин, В. Ю. Кузин // Приволжский научный журнал. – 2019. – № 3(51). – С. 46-52.
7. Архив погоды в Якутске: метеорологические данные [Электронный ресурс] // RP5.ru: метеорологический портал. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения: 21.04.2026).

УДК 658.5

Антонович А.П., Карпов А.Р.

***Научный руководитель: Чернышева Е. В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова г. Белгород, Россия***

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ПРАКТИКУ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

В современных условиях развития системы здравоохранения особую актуальность приобретает повышение эффективности деятельности медицинских организаций. Рост нагрузки на медицинский персонал, увеличение количества обращений пациентов и необходимость повышения качества медицинской помощи требуют внедрения современных управленческих технологий

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования деятельности медицинских учреждений является внедрение принципов бережливого производства (Lean production), ориентированных на устранение потерь и оптимизацию организационных процессов

В настоящее время Lean-технологии активно внедряются в медицинских организациях в рамках реализации проектов «Бережливая поликлиника». Основной целью данных преобразований является повышение доступности медицинской помощи, сокращение времени ожидания пациентов и рациональное использование ресурсов учреждения.

Практический опыт ОГБУЗ «Детская областная клиническая больница» города Белгорода показывает, что внедрение элементов бережливого производства способствует совершенствованию как отдельных процессов, так и деятельности учреждения в целом.

Целью исследования является анализ практик внедрения Lean-технологий в деятельность медицинского учреждения в целом.

В ОГБУЗ «Детская областная клиническая больница» внедрение принципов бережливого производства осуществляется комплексно и охватывает различные направления деятельности медицинской организации.

Основными задачами внедрения Lean-технологий являются:

- сокращение временных потерь;
- оптимизация маршрутизации пациентов;
- повышение эффективности использования рабочего времени персонала;
- совершенствование логистики процессов;
- повышение доступности медицинской помощи.

В рамках реализации проекта «Бережливая поликлиника» в учреждении был реализован ряд мероприятий по совершенствованию процессов. В основе концепции лежит применение принципов управления процессами, при котором деятельность медицинской организации рассматривается как совокупность взаимосвязанных процессов, направленных на создание ценности для пациента. Ключевое значение при этом приобретают выявление и устранение действий, не связанных непосредственно с оказанием медицинской помощи, включая избыточные помещения, дублирование функций, временные потери и нерациональное использование ресурсов.

Одним из значимых направлений стала оптимизация процесса первичного приема пациентов в дневной стационар поликлиники. Анализ существующего процесса позволил выявить ряд проблем, включая длительное ожидание пациентов, неравномерную нагрузку на медицинский персонал и наличие избыточных перемещений пациентов между кабинетами.

С целью устранения выявленных потерь были внедрены элементы стандартизации процессов, оптимизирована маршрутизация пациентов и перераспределены функциональные обязанности сотрудников. Кроме того, были разработаны единые алгоритмы взаимодействия между подразделениями, что позволило сократить временные затраты на оформление медицинской документации.

В результате проведенных мероприятий удалось сократить время первичного оформления пациентов, снизить нагрузку на сотрудников

регистратуры и повысить пропускную способность дневного стационара.

Помимо совершенствования процесса первичного приема, в медицинском учреждении реализуются и другие процессы производства.

Важным направлением бережливых преобразований стало совершенствование процесса госпитализации пациентов от врача-хирурга. Внедрение стандартизированных алгоритмов оформления медицинской документации и координации действий сотрудников позволило повысить оперативность госпитализации пациентов.

Одним из направлений является оптимизация процесса проведения вакцинации. В ходе анализа текущего состояния процесса были выявлены проблемы, связанные с длительным ожиданием пациентов около кабинета врача-педиатра и прививочного кабинета. Основной причиной являлось отсутствие предварительной записи на вакцинацию, вследствие чего прием пациентов осуществлялся в порядке «живой» очереди.

С целью устранения выявленных организационных потерь были внедрены мероприятия, направленные на оптимизацию маршрутизации пациентов и стандартизацию процесса подготовки к вакцинации. В Учреждении была организована предварительная запись на проведение вакцинации, а также разработан стандарт операционной процедуры «Алгоритм подготовки к проведению вакцинации».

Дополнительно была проведена оптимизация работы прививочного кабинета с использованием системы 5S, что позволило сократить время пребывания пациента в кабинете вакцинации за счет устранения лишних перемещений медицинской сестры.

С целью сокращения потерь времени при оценке реакции на вакцину и внесении информации в медицинскую документацию были перераспределены функциональные обязанности сотрудников.

Комплексное внедрение Lean-технологий позволило добиться значительного повышения эффективности процесса вакцинации и уменьшить продолжительность в среднем на 110 минут.

Кроме того, в учреждении реализуются проекты по совершенствованию процесса проведения магнитно-резонансной томографии, оптимизации документооборота и развитию электронных сервисов записи пациентов на прием.

Таким образом, внедрение принципов бережливого производства в деятельность медицинских организаций является одним из эффективных направлений совершенствования системы оказания медицинской помощи, позволяющее выявлять и устранять

организационные потери, оптимизировать внутренние процессы учреждения и повышать эффективность качества оказываемых услуг.

Практический опыт ОГБУЗ «Детская областная клиническая больница» показывает, что комплексный подход к реализации бережливых проектов способствует повышению доступности медицинской помощи, сокращению времени ожидания пациентов и улучшению условий работы медицинского персонала, что подтверждает перспективность дальнейшего развития бережливого здравоохранения, как инструмента повышения эффективности функционирования медицинских организаций и качества медицинского обслуживания. средняя продолжительность пребывания пациентов в отделении неотложной помощи снизилась на 20–30 %; длительность процедуры выписки из стационара в среднем сократилась на 3–6 часов; продолжительность полного комплекса процедур в операционных сократилась примерно на 25 %; количество операций, начатых точно в срок, увеличилось на 100 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грибанов Ю.И. Бережливые технологии в здравоохранении // Менеджмент качества в медицине. — 2021. — №3. — с. 15-21.
2. Методические рекомендации по внедрению принципов бережливого производства в медицинских организациях. — Москва : Министерство здравоохранения РФ, 2021. — 56 с.
3. ГОСТ Р 56020–2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 16 с.
4. Чернышёва Е.В., Зуева Е.С. Внедрение бережливого производства и управления в средних и крупных предприятиях базовых несырьевых отраслей экономики Белгородской области // Актуальные вопросы и перспективы развития науки, техники и технологии : материалы Международной научно-практической конференции. — Чистополь, 2020. — С. 248–252.
5. Чернышёва Е.В. Средства и методы управления качеством. — Белгород, 2011. — 212 с.
6. Гончарова А.А., Чернышёва Е.В. Методы оценки эффективности функционирования системы менеджмента качества // Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации : сборник докладов VI Международной научно-практической интернет-конференции. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. — С. 30–33.
7. Эмануэль А.В., Аверьянова Е.В., Каленская А.В., Куликов О.В., Иванов Г.А., Швабский О.Р. Разработка и внедрение документов

УДК 575.86, 615.21

Анциферова А.А.^{1,2}, Бусленко А.В.¹

Научный руководитель: Кашикаров П.К.^{1,2,3}, д-р физ.-мат. наук, проф.

¹ *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), Московская область,
г. Долгопрудный, Россия*

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

РАССУЖДЕНИЕ О МЕХАНИЗМЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СЕРЕБРА

Серебро используется человечеством в медицинских целях с древних времен. Так, первые упоминания о таком применении серебра халдеями датируются 4000 г. до н. э. Вплоть до XVIII-XIX вв. применяли исключительно металлическое серебро, а затем – нитрат серебра (ляпис), коллоидное серебро, соединения серебра с мышьяком и серой. С начала XXI в. в рамках развития нанотехнологической инициативы начали активно внедрять в обиход наночастицы серебра и обсуждать сопутствующие вопросы. Сегодня в клинической медицине используют препараты протеината серебра для лечения инфекционных заболеваний, покрывают импланты и кардиостимуляторы серебром для повышения их биосовместимости и приживаемости, в гнойной хирургии применяют повязки с наночастицами серебра, а в нетрадиционной медицине используют растворы наночастиц серебра для повышения иммунитета. Наночастицы серебра применяют и в легкой промышленности: например, изготавливают маски и респираторы с такими покрытиями, повышающими их защитные свойства, а также носки для терапии грибковых инфекций.

В целом, можно выделить следующие свойства серебра: антисептическое (антибактериальное, противовирусное, фунгицидное), противовоспалительное и регенеративное. Как показано, сегодня на рынке доступно серебро в различных формах, а также как соединение с другими веществами. Однако, суть механизма действия таких препаратов сводится ко взаимодействию ионов серебра с живыми организмами, а также биомакромолекулами в их составе. Форма серебра, а также наличие других веществ в составе препарата, по всей

видимости, влияют на степень интенсивности, а также продолжительность действия ионов серебра. Например, отмечают синергическое действие наночастиц серебра и антибиотиков, то есть усиление действия последних [1].

Работы Луи Пастера по патогенности микроорганизмов в XIX в. сформировали на долгие годы представление о механизме терапевтического действия серебра. Так, согласно этим представлениям, ионы серебра оказывают токсическое, деструктивное действие в отношении патогенных организмов. Такая идея о механизме действия ионов серебра является распространенной и общепринятой в научном мировом сообществе и сегодня. В пользу этого довода свидетельствует высокая частота использования словосочетаний «ионы серебра разрушают...», «наночастицы серебра убивают...», а также большое число научных докладов на международных конференциях, а также научных статей о токсичности препаратов серебра [2].

Однако, следует заметить, что вышеупомянутое представление о механизме терапевтического действия серебра не является исчерпывающим. Если серебро токсично для патогенов, то оно также может быть токсично и для здоровых клеток и тканей? Однако, как показывают многовековой опыт использования серебра и современные экспериментальные данные, это не совсем так. Например, существуют научные работы, показывающие селективность действия наночастиц серебра в отношении раковых клеток, то есть наночастицы серебра оказывают большее токсическое действие в отношении раковых клеток по сравнению с нормальными клетками [3].

Целью данной работы является анализ и обобщение данных научной литературы о воздействии препаратов серебра на живые организмы для выявления истинного механизма терапевтического действия серебра. Необходимо отметить, что все такие научные работы можно поделить на три типа: 1) наблюдали деструктивное, токсическое действие препаратов серебра, 2) наблюдали стимулирующее действие препаратов серебра, 3) не наблюдали эффектов препаратов серебра. Далее сфокусируемся на первых двух типах действия серебра. Отсутствие эффектов может быть связано с чрезвычайно малыми дозами и редко встречается в научной литературе.

В научных исследованиях наблюдали повышение числа полезных бактерий и снижение числа вредных бактерий у поросят и кур после экспозиции наночастицами серебра. Однако, в других работах отмечали дисбактериоз у грызунов и у их потомства при экспозиции подобными наночастицами. Также наблюдали повышение выживаемости и пролиферации клеток при воздействии низких доз наночастиц серебра.

При этом, умеренное повышение уровня активных форм кислорода указывало на протекание процессов адаптации к окислительному стрессу. В экспериментах с лабораторными млекопитающими отмечали как подавление, так и стимуляцию их поведенческих и когнитивных функций при воздействии препаратов серебра: характер эффекта зависел от типа соединения серебра и продолжительности экспозиции. Экспозиция беременных самок мышей наночастицами серебра повышала рождаемость, а на качество потомства не влияла. В других работах наблюдали снижение фертильности у лабораторных животных под воздействием наночастиц серебра. Использование препаратов серебра в сельском хозяйстве в ряде случаев обеспечивает их стимулирующее действие на растения: повышение всхожести семян и урожайности, укрупнение растений, однако может оказывать и угнетающее действие в зависимости от дозировки. Регенеративные и противовоспалительные эффекты серебра хорошо известны и используются в клинической медицине: в гнойной хирургии применяют повязки с покрытием из наночастиц серебра. Вышеперечисленные эффекты подробно разобраны в обзоре [4].

Терапевтическое действие серебра может быть объяснено с одной стороны стимулирующим воздействием на живой организм, а с другой стороны – деструктивным воздействием на патогены. Тогда возникает вопрос, почему действие серебра на организм животного или растения в ряде случаев носит стимулирующий характер, а в отношении болезнетворных микроорганизмов – деструктивный? Ответ может быть очень прост: большой организм с высоким уровнем организации более устойчив к внешнему воздействию, чем отдельные клетки. Организм млекопитающего лучше приспособлен к выживанию, чем отдельные клетки, его образующие. То есть метафора «вместе выживать легче» обусловлена эволюционно. Вместе с тем, также эволюционно обусловлена конкурентная борьба за ресурсы отдельных клеток. Такая борьба была актуальна ранее, до объединения клеток в самоорганизованные объединения – организмы, но и после она имеет место быть, как артефакт более ранних этапов эволюции, как неэффективная и ненужная реакция, которая провоцирует стресс и развитие болезней организма-хозяина. Также в работах селективность действия наночастиц серебра на опухолевые клетки по сравнению с нормальными объясняли различиями в окислительно-восстановительном гомеостазе между опухолевыми и нормальными клетками [5].

С другой стороны, механизм стимулирующего действия ионов серебра, по всей видимости, обусловлен стрессовой реакцией, а именно

стрессом на общеорганизменном уровне. Действительно, по определению стресс – это адаптация организма к любому внешнему воздействию. При этом, серебро не является эссенциальным элементом для организма млекопитающих и растений и постоянно в них не содержится. Поэтому, очевидно, что экспозиция серебром такого организма сопряжено со стрессовой реакцией. Наличие стрессовой реакции при взаимодействии с препаратами серебра подтверждается рядом научных работ [1]. При этом, в этих работах наблюдали как признаки дистресса (негативного стресса), так и эустресса (положительного стресса).

В свете рассмотренных явлений, мы выдвигаем концепцию о механизме терапевтического действия серебра как проявления эустресса, то есть положительного стресса, проявляющегося в стимуляции организма. При этом, стимулирующий характер действия на организм-хозяин и одновременно деструктивный характер действия на патогены могут быть обусловлены различными уровнями организации и, вместе с тем, приспособленности и устойчивости таких организмов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-19-00792).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.Г. Хина, Сходство и различия в антибактериальном действии ионов и наночастиц серебра / А.Г. Хина, Ю.А. Крутяков // Прикладная биохимия и микробиология. – 2021. – Т. 57. – № 6. – стр. 523-535. <https://doi.org>
2. A.A. Antsiferova, About therapeutic action of silver ions: A brief overview / A.A. Antsiferova, P.K. Kashkarov / Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents. – 2025. – V. 39. . –№ 2. – P. 3303. <https://doi.org>
3. L.M. Valenzuela-Salas, New Protein-Coated Silver Nanoparticles: Characterization, Antitumor and Amoebicidal Activity, Antiproliferative Selectivity, Genotoxicity, and Biocompatibility Evaluation / L.M. Valenzuela-Salas, A. Blanco-Salazar, J.D. Perrusquía-Hernández, M. Nequiz-Avendaño, P.A. Mier-Maldonado, B. Ruiz-Ruiz, V. Campos-Gallegos, M.E. Arellano-García, J.C. García-Ramos, A. Pestryakov, L.J. Villarreal-Gómez, Y. Toledano-Magaña, N. Bogdanchikova / Pharmaceutics. – 2021. – V. 13. – № 1. – P. 65. <https://doi.org>
4. А.А. Анциферова, О механизме антисептического терапевтического действия ионов серебра / А.А. Анциферова, П.К.

Кашкаров / Российские нанотехнологии. – 2025. – Т. 20. – № 3. – стр. 291–302. <https://doi.org/10.56304/S1992722325600175>

5. A.V. Shcherbanyuk, Increase in the Intensity of Free Radical Processes of Tumor Cells by Silver Bisilicate Nanoparticles / A.V. Shcherbanyuk, S.I. Moiseev, M.Y. Frolova, S.N. Golyandin, N.A Germanov, N.V. Ulin, N.V. Kalmykova / Nanotechnol Russia. – 2024. – №. 19 (Suppl 1). – P. S195–S201. <https://doi.org>

УДК 539.1.074

*Афанаскина А.Н., Володина А.В., Иванушкин С.А.
Научный руководитель: Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЫТОВЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ-РАДИОМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ FNIRSI GC-01 и МКС-03СА.

С использованием ядерно-энергетических установок в жизнедеятельности человека актуализируются вопросы радиационной безопасности. В связи с этим разрабатываются различные виды радиационно-защитных материалов, обеспечивающих безопасность как населения, так и персонала обслуживающего ядерно-энергетические установки [1-19].

Контроль уровня ионизирующего излучения необходим как в различных профессиональных сферах жизни (на атомных станциях, в медицине, промышленности), так и в бытовых условиях — для оценки радиационного фона в жилых помещениях, на местности или при выборе различных строительных материалов.

Для измерения радиационного фона применяются дозиметры-радиометры, которые подразделяются на бытовые и профессиональные. Первые предназначены для простого и быстрого контроля, обладают компактными размерами и невысокой стоимостью, но зачастую уступают профессиональным приборам в точности, диапазоне измерений и функциональности. Профессиональные же дозиметры-радиометры, напротив, обеспечивают высокую достоверность данных, широкий диапазон измерений и возможность калибровки, однако их использование зачастую требует специальных знаний, а также они имеют более высокую стоимость.

Целью статьи является сравнительный анализ бытовых и профессиональных дозиметров по их основным эксплуатационным характеристикам.

Одним из доступных бытовых дозиметров-радиометров является радиометр FNIRSI GC-01 (рис.1, а) на основе счётчика Гейгера-Мюллера диаметром 10 мм [20].

Он довольно компактен и легок, имеет небольшую стоимость, возможность детектирования бета-частиц, гамма и рентгеновских лучей.

Из минусов можно выделить низкую точность измерения по сравнению с профессиональными приборами, а также малый диапазон измерений [20].

Примером профессионального дозиметра-радиометра является МКС-03СА (рис.1, б). «Карманный» профессиональный дозиметр-радиометр с ежесекундным непрерывным уточнением результата измерения и индикацией текущей статистической погрешности. Предназначен для: измерения мощности амбиентной дозы гамма и рентгеновского излучения; измерения плотности потока β - частиц от загрязненных поверхностей; оценки плотности потока α - частиц; индикации потока радиационных частиц в режиме «ПОИСК»; измерение удельной активности радиоактивных изотопов в пробах продуктов потребляемых людьми и прочих объектов внешней среды; срочного поиска источников радиационного излучения, проверки загрязнения радиоактивными веществами и оперативной оценки радиационной обстановки [21].

Из плюсов выделяют высокую точность и широкий диапазон измерений, регистрирует гамма- и рентгеновское излучение, надежный и долговечный. Из недостатков выделяют относительно высокую стоимость (почти в 10 раз дороже fnirsi gc-01) [21].



Рис. 1. Дозиметры-радиометры
а) Дозиметр Fnirsi GC-01; б) Дозиметр МКС-03СА;

В связи с этим, можно сделать выводы, что FNIRSI GC-01 не подходит для точных измерений, а предназначен для базовой оценки радиационной обстановки, но его крайне низкая стоимость по сравнению с МКС-03СА делает его отличным вариантом для бытового использования. Дозиметр-радиометр МКС-03СА способен проводить более точные измерения, но имеет высокую стоимость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиационно-защитные железоксидные матрицы для кондиционирования жидких радиоактивных отходов АЭС / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 163-167.

2. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

3. Мирзоев, Д. И. Мартитовая руда КМА как наполнитель радиационно-защитного материала / Д. И. Мирзоев, С. О. Бондарев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 880-884.

4. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

5. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide / A. I. Gorodov, A. A. Mogutova, P. V. Matyukhin, D. S. Romanyuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388, No. 1. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012116.

6. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского

государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

7. Сотникова, Т. Ю. Измерение кратности ослабления гамма-излучения в композиционных материалах / Т. Ю. Сотникова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 7063-7067.

8. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Ю. М. Бондаренко, П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 120.

9. Прокопченко, А. П. Применение портландцемента для создания радиационно-защитных материалов / А. П. Прокопченко, Е. О. Пилаvidу, В. В. Солгалов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 290-295.

10. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

11. Павленко, В. И. Эманирующая способность радона минерального сырья, используемого при изготовлении строительных бетонов / В. И. Павленко, Ю. В. Ветрова, П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 39-43.

12. Мызников, Д. А. Способы защиты от рентгеновского излучения / Д. А. Мызников // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук : Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 10. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 223-228.

13. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. –

2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.

14. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.

15. Мельниченко, А. В. Полимерные композиционные материалы для защиты от нейтронного излучения / А. В. Мельниченко, В. В. Солгалов, Е. О. Пилавиду // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 207-212.

16. Matyukhin, P. Studies of Structural Changes in Surface and Deep Layers in Magnetite Crystals After High Pressure Pressing / P. Matyukhin // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) : Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Belgorod, 23–27 сентября 2019 года. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2019. – P. 239-243. – DOI 10.1007/978-3-030-22974-0_58.

17. Матюхин, П. В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матюхин Павел Владимирович. – Белгород, 2004. – 20 с.

18. Пискарева, А. О. Современные радиационно-защитные полимерные материалы / А. О. Пискарева // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 2751-2755.

19. Патент № 2572271 C1 Российская Федерация, МПК B22F 1/02, C01B 6/34. Способ нанесения боросиликатного покрытия на частицы гидрида титана : № 2014131233/02 : заявл. 28.07.2014 : опубл. 10.01.2016 / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, О. В. Куприева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", г. Белгород.

20. FNIRSI® GC-01 Nuclear Radiation Detector / [Электронный ресурс] // fnirsi.com : [сайт]. — URL: <https://www.fnirsi.com> (дата обращения: 29.04.2026).

21. Дозиметры МКС-03СА с самой высокой скоростью измерения / [Электронный ресурс] // СНИИП АУНИС : [сайт]. — URL: <https://www.aunis.ru> (дата обращения: 29.04.2026).

УДК 389

Бадалян Л.П.

*Научный руководитель: Луценко О.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

НЕВИДИМАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КАЧЕСТВА: КАК МЕТРОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАШУ БЕЗОПАСНОСТЬ КАЖДЫЙ ДЕНЬ

В современном мире измерения сопровождают человека практически непрерывно. Мы сталкиваемся с ними при покупке продуктов, оплате коммунальных услуг, прохождении медицинских обследований, использовании навигации, поездках на транспорте и даже при оценке качества воздуха и воды. При этом большинство граждан воспринимают измерение как простую техническую операцию и редко задумываются о том, какой сложный организационный, научный и нормативный механизм стоит за достоверностью каждого результата.

Метрология выступает невидимой инфраструктурой качества и безопасности. Ее невидимость связана с тем, что система работает эффективно именно тогда, когда пользователю не приходится сомневаться в показаниях прибора. Однако, чем меньше общество замечает метрологию, тем выше риск недооценки ее значения. Цель данной статьи — показать, каким образом обеспечение единства измерений формирует безопасность человека в повседневной жизни и почему развитие метрологической инфраструктуры является стратегической задачей современного государства [4].

Под единством измерений понимается такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению единицах, а показатели точности известны и не выходят за установленные пределы. Практический смысл этого принципа состоит в том, что измерение одной и той же величины в разных местах и в разное время должно давать сопоставимый результат в пределах

нормированной погрешности. Без этого невозможны ни наука, ни промышленная кооперация, ни защита прав потребителей. Система обеспечения единства измерений включает несколько взаимосвязанных элементов: законодательную и нормативную базу, государственные органы регулирования, сеть эталонов, метрологические службы, испытательные и поверочные лаборатории, а также методики измерений и процедуры контроля. Ее работа строится по иерархическому принципу: от первичных эталонов единиц величин размер единицы передается вторичным и рабочим эталонам, а затем — рабочим средствам измерений, используемым в больницах, магазинах, на производстве и в быту.

Ключевую роль в этой системе играют поверка и калибровка. Поверка подтверждает, что средство измерений соответствует обязательным метрологическим требованиям и может применяться в регулируемой сфере.

Одной из функций калибровки является обеспечение прослеживаемости результата к эталонам, также она позволяет установить фактические метрологические характеристики прибора. Это все в свою очередь позволяет прибор интегрировать в систему.

Стоит отметить, что сфера метрологии регулируется законодательно, так как она оказывает немаловажный эффект на различные сферы деятельности человека, например, здравоохранение, транспорт, безопасность труда и оборона, таких сфер достаточно большое количество, где ошибка измерения создает угрозу как материальную, так и для здоровья граждан.

Из выше сказанного можно заключить, что метрология является одной из тех направлений, на которую государству нужно уделять особое внимание.

Как и говорится выше, метрология оказывает весомое влияние на жизнедеятельность человека, одно из сфер, которое от него критически зависимо, является здравоохранение. Там, где достоверность полученных показателей максимально важна, то есть ошибка в результатах, например, компьютерной томографии или лабораторных анализах крови, температуры и других, способствует неправильной установки диагноза, что угрожает жизни пациента.

В торговле метрология обеспечивает базовый принцип эквивалентности обмена: покупатель должен получить именно то количество товара, за которое он заплатил. Весы, дозаторы, мерники и иные средства измерений в магазинах и на рынках имеют прямое отношение к защите прав потребителей. Ошибка прибора в этой сфере может казаться незначительной, однако при массовом характере

операций она превращается в устойчивый источник экономических потерь для граждан [5].

Не менее значима метрология в жилищно-коммунальном хозяйстве. Счетчики воды, газа, тепла и электроэнергии определяют сумму, которую гражданин обязан оплатить. Отсюда следует очевидный вывод: точность потребления — это точность оплаты. Своевременная поверка приборов учета защищает как поставщика ресурса, так и потребителя, позволяя рассчитываться по фактическим показаниям, а не по усредненным нормативам. Нарушение межповерочных интервалов или использование неисправного прибора создает конфликты, финансовые споры и подрывает доверие к системе расчетов.

В транспортной сфере измерения лежат в основе безопасности движения. Контроль скорости, давления в системах, параметров топлива, технического состояния узлов и агрегатов невозможен без исправных и проверенных средств измерений. Ошибка в таких системах способна привести к аварии, поскольку транспорт функционирует в условиях повышенного риска и высокой динамики процессов. Для авиации, железнодорожного транспорта и автодорожного контроля вопрос точности приобретает критическое значение.

Экологический мониторинг также полностью опирается на достоверные измерения. Контроль загрязнений воздуха, воды и почвы, наблюдение за промышленными выбросами, оценка содержания вредных веществ в среде требуют высокой точности и сопоставимости данных. Только метрологически обеспеченные результаты могут использоваться для управленческих решений, надзорных мер и судебно-правовых процедур. Аналогичным образом на опасных производственных объектах измерения температуры, давления, концентраций и радиационных параметров образуют контур промышленной, ядерной и радиационной безопасности.

Несмотря на фундаментальную роль метрологии, ее развитие сталкивается с рядом системных проблем. Первая из них связана с кадровым обеспечением. Для работы в сфере измерений необходимы высокая квалификация, дисциплина, знание методик, ответственность и понимание последствий даже незначительной ошибки. Дефицит подготовленных специалистов снижает надежность всей системы, поскольку метрологическая культура формируется не только стандартами, но и качеством практической работы.

Вторая проблема — старение парка средств измерений и сложность определения оптимальных межповерочных интервалов. Вопрос в том, что используемые приборы находятся в различных

условиях эксплуатации, отсюда они приводятся в негодность с различным временным интервалом. Необходимо переходить к гибким моделям фиксации интервалов, которые будут иметь мониторинг состояния оборудования в конкретном промежутке времени.

Третья проблема касается цифровизации метрологии в стране. Автоматизация всех систем, удаленные проверки средств измерений — это будущее, к которому государство идет семимильными шагами, однако данный переход несет за собой определенные риски, такие как выделение дополнительных средств на кибербезопасность и что самое главное решение вопросов доверия к алгоритмам обработки результатов работы. Стоит отметить и необходимость просвещения в сфере метрологии. Граждане Российской Федерации должны понимать зачем нужно проверять счетчики и обращаться в аккредитованные лаборатории.

Необходимо понимать, что развитая метрологическая инфраструктура является залогом успешной жизнедеятельности общества в целом, так как она неразрывно связана со всеми сферами деятельности государства, такими как: ЖКХ, транспорт, экологию, здравоохранение и так далее.

В ходе исследования можно было выявить что точность измерений - это не просто характеристика, выражающая степень близости результатов измерений искомым значениям, но и показатель, от которого зависит очень многое в повседневной жизни человека. От него зависят и эффективность контроля в экологии, и корректность диагноза в медицине, и точность в выданной заработной платы в бухгалтерии, и так далее.

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод, что развитие систем обеспечения единства измерений является одним из целей государства, который при осуществлении отображается положительно как на жизнь обычных граждан страны, так и влияет на работу всех процессов в целом. Работа над этой целью является совершенно необходимым для снижения рисков и повышения доверия к результатам измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О обеспечении единства измерений [Текст]: Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 26. – Ст. 3021.

2. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. с 01.11.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – IV, 24 с.

3. Аверьянова А. Г. Современные проблемы в сфере управления жилищно-коммунальным хозяйством / Аверьянова А. Г. [Электронный ресурс] // [сайт]. — URL: <https://e-scio.ru> (дата обращения: 23.04.2026).

4. Сергеев, А. Г., Терегеря, В. В. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст] / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря — 4-е издание, переработанное и дополненное. — Москва: Юрайт, 2023 — 721 с.

5. Луценко О.В. Метрологическое обеспечение жизненного цикла продукции: учебное пособие для студентов направления подготовки бакалавриата 27.03.01 Стандартизация и метрология. /О.В.Луценко, А.А.Афанасьев — Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2017 г. — 94с.

УДК 006.89

Бахмутова С. А., Галкина Э.Е.

Научный руководитель: Луценко О. В., канд. техн. наук, доц.

***Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г.Шухова, г. Белгород, Россия***

ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В СФЕРЕ МНОГОУРОВНЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И РАЗВИТИЯ БИБЛИОТЕК

Рост информационных технологий и цифровизации во всех сферах общества, в том числе и такая специфичная и формализованная область, как библиотечное дело, требует быстрой стандартизации технологических процессов.

Трудно переоценить значение стандартов в практике работы библиотек, на их базе осуществляются основные технологические процессы в библиотечной деятельности.

Во всех странах мира ко всем типам библиотек применяются международные стандарты, разработанные международной организацией по стандартизации (ИСО). Они регламентируют показатели, критерии и методологии измерения эффективности работы библиотек. Рассмотрим некоторые из них, так Технический комитет ISO/TS 46, «Информация и документация», (Подкомитет SC 8, «Статистика и оценка эффективности работы») подготовил Международный стандарт ISO 11620, который устанавливает

показатели эффективности работы библиотек. ISO 11620:2023 («Информация и документация. Показатели эффективности работы библиотек») — обновлённая версия стандарта, введённая в действие 1 июня 2023 года. Стандарт определяет качество библиотечно-информационной службы как «совокупность свойств (параметров) услуг, процессов и условий их предоставления, обеспечивающую удовлетворение соответствующих потребностей пользователей»[1].

Подкомитетом SC 8 «Статистика и оценка эффективности деятельности» технического комитета ISO/TC 46 «Информация и делопроизводство» разработан ISO 16439:2014 («Информация и делопроизводство. Методика и процедуры результатов деятельности библиотек»). Стандарт устанавливает терминологию, используемую для оценки эффективности работы библиотек, а также методы для проведения такой оценки. Методы такой оценки, как: стратегического планирования и внутреннего управления качеством библиотек, облегчения сравнения влияния библиотек с течением времени и между библиотеками схожего типа и назначения, продвижения роли и ценности библиотек в обучении и исследованиях, образовании и культуре, социальной и экономической жизни; для поддержки политических решений по уровню обслуживания и стратегическим целям библиотек.

Большинство библиотек успешно используют рекомендации, содержащиеся в этих документах, в своих процессах планирования, устанавливая необходимый баланс ресурсов и результатов работы, а также проводя самооценку и последующие оценки библиотек. Однако не все показатели эффективности применяются ко всем библиотекам, возникают проблемы с ограничениями ресурсов, необходимостью обучения персонала и т.д.

Деятельность по стандартизации в нашей стране регулируется Федеральным законом № 162 «О стандартизации в Российской Федерации», принятым в 2015 году. На базе Всероссийского института научно-технической информации Российской академии наук 27 октября 1997 года был создан Технический комитет 191 по стандартизации «Научно-техническая информация, библиотечное издательское дело», который разрабатывает и пересматривает систему стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу (СИБИД) [2].

Ключевым документом среди стандартов СИБИД выступает ГОСТ 7.55-99 «СИБИД. Основные положения». Этот норматив имеет межгосударственный статус и определяет единые требования, нормы и правила, регулирующие процессы сбора, обработки, хранения, учета, поиска, предоставления и распространения информации.

В настоящее время система стандартов, применяемых в библиотечно-информационной сфере, включает три основные категории:

- стандарты терминологического характера, направленные на введение новых понятий и уточнение уже существующих;
- библиотечно-архивные нормативы, регламентирующие технологические и организационные процессы;
- документы, содержащие сведения по различным направлениям библиотечно-информационной деятельности, таким как формирование фондов, обслуживание пользователей, а также оформление библиографической информации.

Интерес представляет ГОСТ Р 7.0.100 – 2018 «Библиографическая запись библиографическое описание. Общие требования и правила составления», который впервые стал национальным стандартом. Целью создания данного стандарта является приведение к единообразию правил составления библиографического описания для всех видов информационных ресурсов. Он направлен на обеспечение совместимости данных и упорядочивание процессов их обмена как на национальном, так и на международном уровнях. Терминология, закрепленная в стандарте, отражает основные понятия, используемые при формировании библиографических описаний, и способствует согласованию отечественной терминологической базы с международными нормами. [3].

Очень важные вопросы статистики в библиотечном деле отражены в стандарте ГОСТ Р 7.0.20–2014 «Библиотечная статистика: показатели и единицы исчисления» [4].

Данный ГОСТ предназначен для использования в библиотеках всех типов и видов, а также в научно-технических информационных учреждениях.

Основные задачи библиотечной статистики заключаются в следующем:

- фиксация показателей деятельности;
- анализ результатов работы библиотек для последующего принятия управленческих решений;
- формирование информационной базы, необходимой для планирования и подготовки отчетности;
- обоснование необходимости финансирования и иных форм поддержки развития библиотек.

Таким образом, соблюдение указанных стандартов обеспечивает прозрачность и результативность управления библиотечными процессами, способствует защите прав пользователей, а также

повышает качество предоставляемых услуг и создаваемых информационных продуктов[5].

Анализ представленных нормативных документов позволяет сделать вывод о том, что согласованность международных и национальных стандартов является неотъемлемым и необходимым условием. Такой подход способствует уточнению терминологического аппарата, выявлению направлений для внедрения нововведений и совершенствования деятельности, а также обеспечивает унификацию и регламентацию процессов библиотечно-информационного обслуживания. Это, в свою очередь, помогает устранить возможные противоречия между практикой и теоретическими положениями, а также установленными нормами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Дмитриева Е. Ю. Система стандартов информационной, библиотечной и издательской деятельности: современное состояние и задачи развития / Е. Ю. Дмитриева, И. В. Тимошенко. – Текст : электронный // Научно-техническая информация. Серия 1 : Организация и методика информационной работы. – 2021. – № 9. – С. 35-44.
2. Российская государственная библиотека : официальный сайт. – URL: <http://www.rsl.ru> (дата обращения: 02.04.2026).
3. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2019.07.01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 124 с.
4. ГОСТ Р 7.0.20–2014. Библиотечная статистика: показатели и единицы исчисления. Библиотечная статистика: показатели и единицы исчисления: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения – 01.01.2015 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 22 с.
5. Луценко О.В. Метрологическое обеспечение жизненного цикла продукции: учебное пособие для студентов направления подготовки бакалавриата 27.03.01 Стандартизация и метрология / О.В. Луценко, А.А. Афанасьев – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. – 94 с.

Башиков Д.Р.

Научный руководитель: Крюков А. В., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Современные экспериментальные исследования, проводимые в технических, экономических и социальных системах, характеризуются большим количеством измеряемых параметров и сложными взаимосвязями между ними. При этом часто возникает задача выявления наиболее значимых факторов, оказывающих существенное влияние на выходные характеристики процесса, используя при этом регрессионный анализ. Такой анализ применяется для построения математической модели исследуемого процесса, оценки степени влияния отдельных параметров на выходную величину и прогнозирования поведения системы в заданных условиях.

Многокритериальный регрессионный анализ предоставляет мощный инструмент для решения этой задачи, однако его эффективность напрямую зависит от правильного выбора методов отбора переменных и оценки их значимости [1].

Основными этапами многокритериального регрессионного анализа является процесс выявления значимых факторов, которые представлены в виде последовательности этапов на рисунке 1.

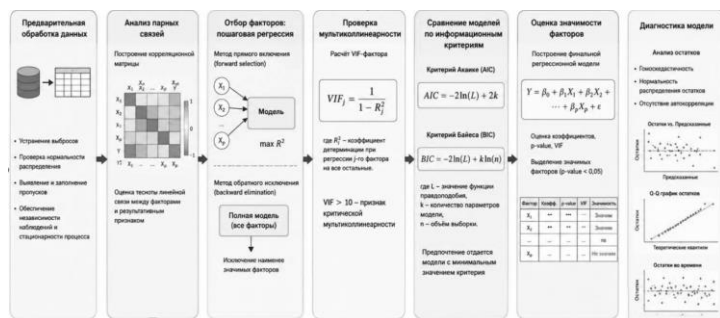


Рис. 1. Этапы многокритериального регрессионного анализа

На начальном этапе экспериментальные данные проходят предварительную обработку: устраняются выбросы и аномалии; проверяется нормальность распределения; выявляются и заполняются пропуски.

Методы выявления значимых факторов заключаются в построение корреляционной матрицы, позволяющей оценить тесноту линейной связи между факторами и результативным признаком. Однако при большом количестве предикторов парный корреляционный анализ может давать искаженные результаты из-за эффекта подавления или ложных корреляций.

Более совершенным инструментом является пошаговая регрессия, реализуемая в двух вариантах: метод прямого включения; метод обратного исключения.

В первом случае факторы последовательно добавляются в модель по критерию максимизации коэффициента детерминации R^2 , во втором – из полной модели удаляются наименее значимые переменные.

Для количественной оценки мультиколлинеарности используется VIF-фактор (Variance Inflation Factor) [2]. Для каждого j -го регрессора VIF рассчитывается по формуле:

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}, \quad (1)$$

где R_j^2 – коэффициент детерминации при регрессии j -го фактора на все остальные. Значения VIF, превышающие 10, свидетельствуют о критической мультиколлинеарности и требуют исключения соответствующего фактора. При этом существуют следующие общепринятые пороги интерпретации VIF:

$VIF = 1$ – полное отсутствие корреляции между факторами;

$1 < VIF < 5$ – слабая или умеренная корреляция, модель считается устойчивой;

$5 \leq VIF < 10$ – умеренно высокая корреляция, требуется проверка;

$VIF \geq 10$ – сильная мультиколлинеарность, переменные искажают результаты и подлежат удалению.

Интерпретация значимости коэффициентов регрессии выполняется на основе p -value. Правило принятия решения [2]:

если p -value $< 0,05$ – коэффициент статически значим, фактор оказывает достоверное влияние на зависимую переменную (гипотеза о равенстве коэффициента нулю отвергается);

если p -value $\geq 0,05$ – коэффициент незначим, фактор можно исключить из модели без существенной потери качества.

При отборе значимых факторов также применяются информационные критерии Акаике (AIC) и Байеса (BIC), позволяющие сравнивать модели с разным количеством предикторов:

$$AIC = -2 \ln(L) + 2k, \quad (2)$$

$$BIC = -2 \ln(L) + k \ln(n), \quad (3)$$

где L – значение функции правдоподобия, k – количество параметров модели, n – объем выборки. Предпочтение отдается модели с минимальным значением критерия. На практике рекомендуется выбирать модель, которая одновременно имеет низкое значение AIC/BIC, приемлемый уровень мультиколлинеарности ($VIF < 5$ для всех факторов) и статически значимые коэффициенты ($p\text{-value} < 0,05$). Сравнивая несколько моделей по AIC, выбирается та, у которой значение меньше, следовательно такая модель лучше для прогнозирования. Сравнивая по BIC, делается выбор в пользу модели с меньшим значением, что говорит о том, что она лучше подходит для объяснения данных и менее переобучена.

Апробация рассмотренной методики проведена на экспериментальных данных, полученных в ходе исследования технологического процесса обжига клинкера (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент экспериментальных данных

№	Температура (X_1), °C	Расход топлива (X_2), м³/ч	Скорость вращения (X_3), об/мин	Прочность (Y), МПа
1	1380	12,5	2,8	48,2
2	1400	13,2	2,9	51,7
3	1420	14	3	53,4
4	1390	12,8	2,7	49,5
5	1410	13,5	2,9	52,1

Можно выделить различные виды однофакторных и многофакторных регрессионных моделей. Наиболее широкое распространение в силу своей способности адекватно описывать многие закономерности получила линейная регрессия [3]. Для формализации представленной выше задачи рассмотрим уравнение множественной линейной регрессии в общем виде:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \varepsilon, \quad (1)$$

где Y – зависимая переменная (прочность материала); X_k – независимые переменные (факторы); β_k – коэффициенты регрессии, показывающие, на сколько единиц изменится Y при изменении соответствующего фактора на единицу; ε – случайная ошибка модели.

Для корректного сравнения влияния факторов, измеряемых в разных единицах (температура в °С, расход топлива в м³/ч, скорость вращения корпуса в печи клинкера в об/мин), необходимо выполнить нормализацию данных. Нормализованные коэффициенты рассчитываются по формуле:

$$\beta_j = b_j \cdot \frac{\sigma_{xj}}{\sigma_y}, \quad (4)$$

где β_j – коэффициент регрессии, σ_{xj} – среднее квадратическое отклонение j -го фактора, σ_y – среднее квадратическое отклонение результирующего признака. Это позволяет ранжировать факторы по силе влияния и определить, какой из них вносит наибольший вклад в изменении выходной переменной.

Для выявления факторов, значимо влияющих на прочность клинкера, была построена множественная линейная регрессионная модель и рассчитаны VIF-факторы (табл. 2).

Таблица 2. Оценка значимости факторов

Фактор	Коэффициенты регрессии	p-value	VIF	AIC	BIC	Значимость
Температура обжига	$\beta_1 = 0,204$	0,012	2,45	6,325	5,153	Значим
Расход топлива	$\beta_2 = -2,571$	0,034	5,21			Значим
Скорость вращения	$\beta_3 = 3,536$	0,312	1,98			Не значим

Для расчёта значимости факторов так же может подойти визуальная оценка. Выполняется Z – стандартизация для приведения всех факторов к одному масштабу, что позволяет сравнивать влияние факторов, измеряемых в разных единицах:

$$X_{\text{норм}} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma_X}, \quad (5)$$

где $\bar{X}$ – среднее арифметическое фактора, σ_X – СКО. На основе стандартизованных данных строится нормализованное уравнение регрессии, коэффициенты которого позволяют ранжировать факторы по степени их влияния на целевую переменную. Сравнивая эти коэффициенты, можно определить, влияния каждого фактора на целевую переменную. Чем больше абсолютное значение коэффициента, тем сильнее влияние соответствующего фактора.

По полученным данным температура обжига фактор $a_1 = 2,884$ в нормализованной модели оказывает наибольшее влияние на целевую переменную, $a_2 = -1,350$ влияет слабее, $a_3 = 0,361$ слабее всего – его

значение почти в 8 раз меньше, следовательно, он не влияет на целевую переменную по сравнению с другими.

Анализ показал, что наиболее значимыми факторами являются температура обжига и расход топлива ($p\text{-value} < 0,05$). Скорость вращения не оказывает значимого влияния на прочность. VIF-факторы всех предикторов не превышают критического значения 10, что свидетельствует об отсутствии мультиколлинеарности, однако для расхода топлива $VIF = 5,21$ находится в зоне «умеренно высокая корреляция», что требует осторожной интерпретации данного коэффициента.

Полученные регрессионные зависимости и методика оценки значимости факторов легли в основу разработанного прикладного программного обеспечения с помощью среды RAD Studio 10 (C++ Builder), интерфейс которой представлен на рисунке 2.

Вид регрессии:

Факторы:

Целевая переменная:

Максимальная степень:

☐ Учитывать полярную зависимость

Качество регрессии: MSE = 0,104, AIC = 6,325, BIC = 5,151, VIF: по y1 = 2,451, по y2 = 5,210, по y3 = 1,981

p-value: по y1 = 0,012 => Значим
 по y2 = 0,034 => Значим
 по y3 = 0,312 => Не значим

Коэффициенты регрессии: $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$

	a0	a1	a2	a3
Значимость коэффициентов	-210,689	0,204	-2,571	3,536
	50,980	2,884	-1,351	0,361

Рис. 2. Разработанное ПО для определения значимости факторов

Рассмотренная методика выявления значимых факторов в многокритериальном регрессионном анализе позволяет: структурировать процесс отбора информативных предикторов, сравнивать альтернативные модели с использованием информационных критериев AIC и BIC; экспериментально подтверждать значимость факторов на основе $p\text{-value}$ и доверительных интервалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. В 2-х кн. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 912 с.
2. Ким Дж.-О., Мюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
3. Рубанов В. Г., Паращук Е. М. Проектирование непрерывных и дискретных систем автоматического управления: учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 106 с.

Беленцова Ю.С., Кудрявых А.Д.

*Научный руководитель: Пучка О.В. д-р. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ФОРМ ПРОТОКОЛОВ СПОРТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ И СПОРТА БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА

Современные соревнования различного уровня по легкой атлетике проводят с использованием специальных спортивных технологий и в соответствии с нормативными требованиями [4-6]. Процесс может включать, как ручное заполнение документов, так и автоматизированные системы [1]. В настоящее время оформление протоколов легкоатлетических соревнований в России регулируются правилами вида спорта «Легкая атлетика», утвержденными приказом Министерства спорта РФ от 9 марта 2023 года №153. Эти правила обязательны для всех официальных соревнований на территории РФ, за исключением международных.

В БГТУ им. В.Г. Шухова легкоатлетические соревнования проводятся два раза в год. Оформлением протоколов во время проведения таких мероприятий в БГТУ занимается главный секретарь соревнований. Вручную он вносит все результаты, после чего их подсчитывает судейская коллегия. Протоколы соревнований подлежат постоянному хранению на кафедре согласно статье 51 приказа Минобрнауки России от 29.11.2023 №1111 «О перечне документов, образующихся в процессе деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и подведомственных ему организаций, с указанием сроков хранения». Именно поэтому их оформление очень важная и ответственная работа.

Из-за долгих подсчетов и постоянных проверок итоговых протоколов, очень часто объявление результатов задерживают, а порой всю информацию вывешивают только через пару дней после мероприятия [2]. Для удобства проведения соревнований на кафедре физического воспитания и спорта были разработаны формы протоколов по видам испытаний - легкая атлетика для проведения 52-спартакиады БГТУ им. В. Г. Шухова в приложении Microsoft Excel [3].

Форма включает в себя несколько листов с основными легкоатлетическими дистанциями (100 - 3000 м.), эстафетой (4x100 м.)

Таблица 1 - Форма для расчета места и очков

Место	Очки	Место	Очки	Место	Очки	Место	Очки
1	20	6	12	11	7	16	2
2	17	7	11	12	6	17	1
3	15	8	10	13	5	18	0
4	14	9	9	14	4		
5	13	10	8	15	3		

Для расчета колонки «Место», учитывается колонка «Результат» (рисунок 1). Все расчеты проводятся через формулу «РАНГ», где выделяют время забега каждого участника, затем они сравниваются между собой. Первое место присваивается участнику с наименьшим результатом, восемнадцатое место ставится участнику с наибольшим результатом. Колонка «Очки» считается, через формулу «ЕСЛИ» и выставляется бал в соответствии с местом, занятым студентом.

Отдельно для каждого института очки суммируются и вносятся на лист «Итоговый протокол» в колонку «Итоговая сумма очков». Далее результаты ранжируются и выставляются в предварительный итоговый протокол соревнований по видам испытаний по легкой атлетике в зачет 52-й спартакиады среди институтов БГТУ им. В.Г. Шухова, рисунок 2.

СВОДНЫЙ ИТОГОВОЙ ПРОТОКОЛ СОРЕВНОВАНИЙ ПО ВИДАМ ИСПЫТАНИЙ <u>ПО ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКЕ</u> В ЗАЧЕТ 52-Й СПАРТАКИАДЫ СРЕДИ ИНСТИТУТОВ БГТУ ИМ. В. Г. ШУХОВА		
Место	Институт	Итоговая сумма очков
1	ИСИ	270
2	ИЭиЭ	269
3	ИЭиМ	261
4	КВТ	246
5	ИИТУС	238
6	ХТИ	229
7	АИ	219
8	ИТОМ	203
9	ТТИ	186
Главный судья _____ Д.С. Сопина		
Итоговый протокол 100 жен. 100 муж. 200 жен. 200 муж. 400 жен. 400 муж. 800 жен. 800 муж. 1500 жен. 1500 муж. ...		

Рис. 2 Итоговый протокол соревнований 52-спартакиады БГТУ им. В. Г. Шухова по легкой атлетике

В данном случае таблица Excel полезна для работы с большим объёмом данных. Для получения итогового результата нужен лишь один человек - секретарь соревнований, а не коллегия преподавателей, считающая очки своего института. При помощи таблицы Excel секретарь может быстро и без особых усилий посчитать очки и выставить их в итоговом протоколе. Разумеется, данный способ быстрого подсчёта результатов соревнований имеет свой минус. Для работы потребуется специалист, разбирающийся в формулах и способный их корректировать при необходимости. Однако данная проблема легко решается, ведь в институте очень часто проводят занятия по повышению квалификации специалистов в рамках работы с таблицами Microsoft Excel.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилин Я.А. «Бережливое производство» в образовании / Я.А. Вавилин // в сборнике: Качество. Инновации. Образование. 2020. № 4 (168). С. 23-28.
2. Кудрявых А.Д., Касаткин С.В. Применение статистических методов для анализа системы навигации на кафедре физического воспитания и спорта в БГТУ им. В.Г. Шухова / А.Д. Кудрявых, С.В. Касаткин // в сборнике: XXIII Всероссийская научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2025)», Таганрог, 2025. С. 327-331.
3. Логвиненко А.А., Ботвиньева А.В. Применение электронного документооборота / А.А. Логвиненко, А.В. Ботвиньева // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Материалы конференции. Белгород, 2024. С. 282-286.
4. Панькина О. А. Бережливое производство на предприятии // Экономика и социум. 2019. № 1-3 (10). С. 597-601.
5. Пучка О.В., Буряк Ю.Ю. Внедрение инструментов бережливого производства в работе НМЦ ПАТС БГТУ им. В.Г. Шухова / О. В. Пучка, Ю.Ю. Буряк // в сборнике: Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Белгород, 2022. С. 179-192.
6. Хандогина Е.В., Моднов С.И. Электронное учебное пособие по дисциплине бережливое производство «Основы бережливого

УДК 697.98

Белоусова М.В., Войтенко Д.С.

Научный руководитель: Елистратова Ю.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСТОЧНИКИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ В УЧЕБНЫХ КАБИНЕТАХ ПО ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Актуальность проблемы обусловлена тем, что именно в учебных кабинетах проблема пылевыведения стоит особенно остро. Школьные и студенческие мастерские часто имеют маленькую площадь, слабую вентиляцию, и рассчитаны на одновременную работу сразу нескольких учеников. В процессе резания или шлифовки образуется мелкодисперсное облако — от крупных опилок до почти невидимой «пыли» [1]. Самое неприятное то, что самые легкие фракции не оседают на пол, а находятся в зоне дыхания человека в течение нескольких часов [2].

На сегодняшний день существует несколько способов борьбы с этой проблемой, и их можно разделить на два вида. Первый, часто единственный в старых кабинетах, — это ручная уборка. Но от этой чистки пользы мало — осевшая на пол пыль все равно поднимается в воздух. Чуть лучше работают промышленные пылесосы, но в условиях учебного класса они часто забиваются опилками, и их нужно постоянно чистить. Наиболее правильный вариант — это система аспирации (удаления), которая тянет грязь прямо от рабочей зоны через систему труб и рукавов. Таким образом, появляется серьезное противоречие: деревообрабатывающие станки крайне нужны для обучения ремеслу, но при этом они создают небезопасную среду, если вовремя не убирать отходы.

Почти любой деревообрабатывающий станок в процессе работы неизбежно становится источником пыли. Одни узлы (например, фуговальный станок, пильные диски) дробят материал на крупные опилки и стружку — это заметно и относительно безопасно, так как они быстро падают вниз. Другие, особенно шлифовальные ленты, истирают древесину в мельчайший порошок, который продолжительное время висит в воздухе.

Таблица 1.

Тип станка	Преобладающая фракция пыли
Циркулярная пила	Крупная стружка + мелкая
Фуговальный	Крупная стружка
Рейсмусовый	Средняя + мелкая
Шлифовальный	Очень мелкая (1–100 мкм)
Фрезерный (ЧПУ)	Мелкая (до 30%)

Чтобы грамотно бороться с пылью в учебных мастерских, важно понимать, какая именно технологическая операция и как именно превращает деревянную заготовку в большое количество частиц. Ниже перечислены основные операции, приводящие к пылевыделению:

1. Продольное и поперечное пиление. При продольном распиле зубья пилы работают как маленькие стамески — они отделяют длинные волокна, основная масса отходов – крупные опилки. Однако из-за трения часть волокон не режется, а рвётся и крошится, из-за чего образуется средняя и мелкая фракция. Поперечное пиление — это почти чистое разрушение волокон поперёк. Здесь пыль мельче и больше, потому что зубья не скользят вдоль, а выбивают кусочки из массива [3].

2. Стругание. Выполняется на фуговальных и рейсмусовых станках, срезая тонкий слой вращающимися ножами. При такой операции вылетает мелкая пыль потому что ножи не режут, а выдирают кусочки волокон. Также нужно учитывать то, что чем больше ножей на валу, тем мельче получается стружка, но при этом растёт доля микронных частиц, которые просто не успевают упасть на пол и остаются висеть [3].

3. Фрезерование. Режущий инструмент – фреза с несколькими ножами, которая вращается с большой скоростью. Данное действие считается очень пыльным, потому что фреза снимает материал не плоскостью, а отдельными ударами, и каждый удар выбивает веер частиц. Фракция пыли при фрезеровании разного размера: от крупной стружки до мелкого песка.

4. Шлифование. При шлифовании абразив просто царапает и истирает поверхность. Каждое зерно шкурки выдирает мельчайшие кусочки. Они настолько лёгкие, что не оседают под собственным весом, а начинают «парить» в воздухе как дым. Особенно сильно пылит шлифовка на больших оборотах (ленточные станки). Если операция длится больше пары минут, в кабинете образуется сероватая взвесь, которая видна в луче света. Шлифование считается одной из самых опасных операций деревообработки.

5. Сверление и долбление. При сверлении пыль образуется из-за того, что стенки отверстия нагреваются, и от них отлетают

микрочастицы обугленной древесины. Долбление — это возвратно-поступательные движения, которые работают как насос: каждый удар стамески выкачивает из углубления облако мелкой пыли [4].

6. Комбинированные операции (пиление + фрезерование за один проход). В учебных мастерских иногда используют станки с ЧПУ или копировальные устройства, где заготовка движется по сложной траектории. Здесь сразу несколько операций смешиваются, и пыль получается размерами от крупной стружки до микрочастиц.

Подводя краткий итог, получается, что самые опасные с точки зрения мелкой взвеси операции — это шлифование и фрезерование, так как они создают частицы, которые практически не оседают на пол, а остаются в воздухе продолжительное время. Пиление и строгание дают в основном крупные и средние фракции. Сверление и долбление занимают промежуточное положение.

Для более четкого понимания, от какого типа оборудования образуется крупная стружка, а от какого — мелкодисперсная пыль, в данной статье предлагается классификация источников пылевыведения по двум признакам: по типу оборудования и характеру обработки.

По типу оборудования можно систематизировать оборудования на следующие виды [5]:

1. Пильные станки (ленточнопильные, торцовки). Образуются остатки от крупных опилок (размерами от 2 до 5 мм) до мелкой пыли при сухом распиле.

2. Строгальные станки (фуганки, рейсмусы). Характерная фракция — стружка и мелкая пыль в размере от 20 до 100 мкм, которая выдувается воздушным потоком от вращающегося ножевого вала.

3. Фрезерные станки (вертикальные, копировальные). При их использовании получается большое количество частиц (10-500 мкм), а также образуется микронная пыль от трения.

4. Шлифовальные станки (ленточные, дисковые, вибрационные). Преобладает самая опасная фракция — частицы размерами 1–50 мкм, которые могут долгое время находиться в воздухе.

5. Сверлильные и долбежные станки. Остатками являются мелкие обугленные частицы (5–30 мкм) и крупная стружка.

По характеру обработки можно выделить следующие виды:

1. Резание с образованием стружки (пиление, строгание, фрезерование с острой фрезой). В данном случае по большей части преобладают средние и крупные частицы (0,1-5 мм) [6].

2. Истирание (шлифование, полировка). Образуется исключительно мелкая и микронная пыль (1-80 мкм) [6].

3. Разрушение с выбиванием (долбление, сверление тупым сверлом). При таком процессе появляется смесь из крупных кусочков и очень мелкой «пылевой взвеси» от нагрева.

Для предотвращения загрязнения рабочего пространства в учебных мастерских можно применить инженерно-технические и организационные меры.

Инженерно-технические меры

Местные отсосы (пылеприёмники) прямо у рабочей зоны. Считается самым доступным и эффективным способом. Современный вариант — гибкие рукава с магнитными защёлками, которые самостоятельно можно пристегнуть к выходному отверстию станка.

Центральная система аспирации («стружкоотсос»). Принцип действия — мощный вентилятор через сеть труб тянет грязь от всех станков в сборник пыли [7].

Фильтры тонкой очистки (НЕРА, класс H11–H13). НЕРА-фильтры задерживают большинство частиц от 0,3 микрона. Их ставят либо на выходе из центральной системы, либо как отдельные мобильные очистители воздуха — их можно вешать на стену в мастерской [8].

Увлажнители воздуха или водяные завесы. Мелкая пыль, попадая во влажную среду, слипается в капли и оседает. В некоторых мастерских ставят форсунки с мелким распылом воды над станками — пыль намокает и не летает [9].

Антистатическое оборудование. Древесная пыль легко электризуется и прилипает к пластиковым рукавам, создавая пробки. Современные рукава делают с антистатическим покрытием или с медной оплёткой — пыль не накапливается, всё уходит в общий сборник пыли [10].

Организационные меры

Расписание с разведением станков по времени. То есть не запускать все станки одновременно, а работать поэтапно: сначала весь класс работает на циркулярках, потом проветривание, затем — шлифовка с включенными мобильными очистителями. Таким образом общая запылённость снижается в разы.

Влажная уборка. Вместо подручных средств уборки лучше использовать пылесос, чтобы собрать основное количество пыли.

Зонирование помещения. Сделать зону пиления, строгания у стены с мощной вытяжкой, а «чистую» зону сборки, разметки — подальше от станков, за ширмой или пластиковой занавеской.

Важно уточнить, что единого и точного решения этой проблемы не существует, главное найти комплексный подход в учебных классах,

чтобы сочетались инженерно-технические и организационные меры по предотвращению запыленности в помещениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тирон О.В. Определение рациональной мощности всасывания пылеудаляющей насадки для ударного инструмента // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. — Белгород, 2020. — С. 4052–4057.

2. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Расчет объемов образования отходов производств : курсовая работа. — URL: <https://referat.co> (дата обращения: 30.04.2026).

3. Временные методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности : утв. Минприроды России 1992 г. — М., 1992.

4. Яицков И. А. Экспериментальные исследования процессов запыленности при обработке древесины фрезерно-пазовальными и цепно-долбежными станками машиностроительных производств / И. А. Яицков, Д. В. Мотренко // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2015. — № 4. — С. 29–35.

5. Месхи Б. Ч., Рябых Г. Ю. Исследование шумовых и пылеобразующих характеристик деревообрабатывающих станков : монография / Б. Ч. Месхи, Г. Ю. Рябых. — Ростов н/Д : ДГТУ, 2007. — 164 с.

6. Belmash.ru. Древесная пыль опаснее, чем кажется [Электронный ресурс]. — 2024. — URL: <https://belmash.ru> (дата обращения: 30.04.2026).

7. Квашнин И. М. Очистка воздуха в циклонах и фильтрах с рециркуляцией / И. М. Квашнин // АВОК. — 2008. — URL: <https://www.abok.ru> (дата обращения: 30.04.2026).

8. Методы борьбы с запыленностью : сайт. — URL: <https://www.ecoindustry.ru/> (дата обращения: 30.04.2026).

9. Airwet : промышленные системы увлажнения : сайт. — URL: <https://airwet.ru> (дата обращения: 30.04.2026).

10. Антистатические материалы : сайт. — URL: <https://www.irimex.ru> (дата обращения: 30.04.2026).

Беляев В.С.

Научный руководитель: Палёнов Е.В., ст. преп.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия*

КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ: ТЕХНОЛОГИИ DOCKER И KUBERNETES

Современная разработка программного обеспечения претерпела значительные изменения за последнее десятилетие. Переход от монолитной архитектуры к микросервисам, распространение практик непрерывной интеграции и непрерывного развёртывания (CI/CD — Continuous Integration/Continuous Deployment), рост популярности облачных вычислений — всё это потребовало новых подходов к упаковке и развёртыванию приложений. Контейнеризация стала ответом индустрии на эти вызовы.

Традиционный подход к развёртыванию приложений предполагал установку программного обеспечения непосредственно на операционную систему сервера. Такой метод имел ряд недостатков: конфликты зависимостей между приложениями, сложность миграции между серверами, проблемы с воспроизводимостью окружения. Виртуализация частично решила эти проблемы, предоставив изолированные виртуальные машины, однако виртуальные машины требуют значительных ресурсов и долго запускаются [1].

Контейнеризация предлагает более лёгкую альтернативу. Контейнеры используют ядро операционной системы хоста, что обеспечивает минимальные накладные расходы и быстрый запуск. Каждый контейнер содержит приложение и все его зависимости, что гарантирует одинаковое поведение в любой среде: на компьютере разработчика, на тестовом сервере или в промышленном окружении.

Docker стал наиболее популярной платформой для контейнеризации. Проект был запущен в 2013 году компанией Docker Inc. и быстро завоевал популярность благодаря простоте использования и богатой экосистеме [2]. Архитектура Docker включает несколько ключевых компонентов.

Docker Daemon — это фоновый процесс, который управляет контейнерами на хосте. Он слушает запросы через Unix-сокеты или сетевой интерфейс и выполняет операции с контейнерами. Docker Client — это интерфейс командной строки, который позволяет пользователю взаимодействовать с демоном. Docker Images (образы Docker) — это неизменяемые шаблоны, из которых создаются контейнеры. Образы

содержат всё необходимое для запуска приложения: код, библиотеки, переменные окружения, конфигурационные файлы. Docker Containers (контейнеры Docker) — это работающие экземпляры образов. Каждый контейнер изолирован от других и от хост-системы.

Dockerfile — это текстовый файл, который содержит инструкции по сборке образа. Синтаксис Dockerfile включает команды FROM (базовый образ), RUN (выполнение команд), COPY (копирование файлов), EXPOSE (открытие портов), CMD (команда по умолчанию). Пример простого Dockerfile для веб-приложения на Python включает установку базового образа, копирование файлов приложения, установку зависимостей и запуск сервера [3].

Docker Registry (реестр Docker) — это хранилище образов. Docker Hub — публичный реестр, содержащий сотни тысяч готовых образов. Организации могут развёртывать приватные реестры для хранения внутренних образов. Это упрощает распространение образов между разработчиками и серверами развёртывания.[4]

Docker Compose — это инструмент для оркестрации нескольких контейнеров. Файл docker-compose.yml описывает сервисы, сети и тома, необходимые для приложения. Это особенно полезно для локальной разработки, когда приложение состоит из нескольких компонентов: веб-сервера, базы данных, кэша. Одной командой можно запустить всё окружение [5].

Однако для управления контейнерами в промышленном окружении возможностей Docker Compose недостаточно. Когда приложение работает на десятках или сотнях серверов, требуются более мощные инструменты оркестрации. Kubernetes стал де-факто стандартом в этой области.

Kubernetes — это система оркестрации контейнеров с открытым исходным кодом, разработанная компанией Google на основе внутренней системы Borg. В 2015 году Google передал проект в фонд CNCF (Cloud Native Computing Foundation — облачный нативный вычислительный фонд). Kubernetes автоматизирует развёртывание, масштабирование и управление контейнеризированными приложениями [6].

Архитектура Kubernetes включает master-ноды (ведущие узлы) и worker-ноды (рабочие узлы). Master-нода управляет кластером и включает несколько компонентов. API Server — это фронтенд управляющей плоскости, который обрабатывает запросы пользователей и компонентов системы. Etcd — это распределённое хранилище ключ-значение, которое хранит состояние кластера. Scheduler (планировщик) распределяет контейнеры по рабочим узлам на основе доступных

ресурсов. Controllor Manager (менеджер контроллеров) отслеживает состояние кластера и вносит изменения для достижения желаемого состояния.

Worker-нода — это сервер, на котором запускаются контейнеры. Kubelet — это агент, который работает на каждой worker-ноде и обеспечивает запуск контейнеров согласно спецификациям. Kube-proxy — это сетевой прокси, который обеспечивает сетевую связность между контейнерами. Container Runtime (среда выполнения контейнеров) — это программное обеспечение, которое запускает контейнеры, например containerd или CRI-O [7].

Kubernetes оперирует несколькими ключевыми объектами. Pod (под) — это минимальная единица развёртывания в Kubernetes. Под может содержать один или несколько контейнеров, которые разделяют сетевое пространство и хранилище. Deployment (развёртывание) описывает желаемое состояние приложения и управляет созданием подов. Service (сервис) определяет набор подов и политику доступа к ним, обеспечивая балансировку нагрузки. ConfigMap (карта конфигурации) и Secret (секрет) хранят конфигурационные данные и чувствительную информацию соответственно.

Kubernetes обеспечивает автоматическое масштабирование приложений. Horizontal Pod Autoscaler (горизонтальный автомасштабировщик подов) увеличивает или уменьшает количество подов на основе метрик использования CPU (центрального процессора) или памяти. Cluster Autoscaler (автомасштабировщик кластера) добавляет или удаляет узлы кластера в зависимости от потребности в ресурсах.

Важной функцией является самовосстановление. Если контейнер падает, Kubernetes автоматически перезапускает его. Если узел кластера выходит из строя, поды перераспределяются на другие узлы. Liveness Probe (проверка жизнеспособности) периодически проверяет состояние контейнера и перезапускает его при необходимости. Readiness Probe (проверка готовности) определяет, готов ли контейнер принимать трафик.

Docker и Kubernetes не являются конкурирующими технологиями, а дополняют друг друга. Docker используется для создания и локального тестирования контейнеров, а Kubernetes — для развёртывания и управления в промышленном окружении. Разработчик создаёт Dockerfile, собирает образ, тестирует его локально, загружает в реестр, а Kubernetes развёртывает этот образ на кластере.

Существуют альтернативы рассмотренным технологиям. Podman — это инструмент для запуска контейнеров без демона, что повышает

безопасность. Docker Swarm — встроенная система оркестрации Docker, более простая чем Kubernetes, но с меньшими возможностями. HashiCorp Nomad — оркестратор, поддерживающий не только контейнеры, но и виртуальные машины. Выбор инструмента зависит от требований проекта: для небольших приложений может быть достаточно Docker Compose, для микросервисной архитектуры в enterprise-среде оптимален Kubernetes.

Практические сценарии внедрения контейнеризации включают несколько типичных случаев. Миграция монолитного приложения в облако: контейнеризация упрощает перенос приложения без значительной переработки кода. Развёртывание микросервисной архитектуры: каждый сервис упаковывается в отдельный контейнер и развёртывается независимо. CI/CD-пайплайны: контейнеры обеспечивают одинаковое окружение на всех стадиях разработки и развёртывания. Изоляция тестовых окружений: тесты запускаются в контейнерах, что исключает влияние на основную систему.

Таким образом, контейнеризация приложений стала неотъемлемой частью современной разработки и эксплуатации программного обеспечения. Docker упростил создание и распространение контейнеров, сделав технологию доступной для широкого круга разработчиков. Kubernetes решил задачу управления контейнерами в масштабе промышленного предприятия, обеспечив автоматическое масштабирование, самовосстановление и балансировку нагрузки.

Перспективы развития технологий контейнеризации включают дальнейшую автоматизацию управления, улучшение безопасности, интеграцию с сервисными сетями (service mesh — сервисная сетка), поддержку бессерверных вычислений. Организациям, планирующим внедрение контейнеризации, рекомендуется начать с обучения команды, пилотных проектов на несистемных приложениях, постепенного перехода к более сложным сценариям использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контейнеризация приложений: введение в Docker и Kubernetes для начинающих [Электронный ресурс]. — URL: <https://taurion.ru> (дата обращения: 22.04.2026).
2. Официальная документация Docker [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 22.04.2026).
3. Dockerfile Reference [Электронный ресурс]. — Docker Inc., 2025. — URL: <https://docs.docker.com> (дата обращения: 22.04.2026).

4. Dockerhub [Электронный ресурс]. — URL: <https://hub.docker.com/> (дата обращения: 22.04.2026).
5. Docker Compose overview [Электронный ресурс]. — Docker Inc., 2025. — URL: <https://docs.docker.com> (дата обращения: 22.04.2026).
6. Kubernetes официальный сайт [Электронный ресурс] — URL: <https://kubernetes.io/> (дата обращения: 22.04.2026).
7. Официальная документация Kubernetes [Электронный ресурс]. — CNCF, 2025. — URL: <https://kubernetes.io> (дата обращения: 22.04.2026).

УДК 620.22:614.876:629.78

Бирюкова С.П., Крузин К.О., Кузьмин Р.Е.
Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА

Космическая радиация влияет на функционирование космических аппаратов, требуя специальных мер защиты для электронных систем. Также данный вид радиации играет важную роль в формировании и эволюции космических объектов, таких как звезды и планеты. Кроме того, космическая радиация имеет значительное воздействие на здоровье людей, особенно космонавтов. Постоянное облучение повышает риск развития рака и других заболеваний, таких как катаракта и сердечно-сосудистые проблемы. Также она может вызывать повреждения ДНК, что приводит к генетическим мутациям и другим длительным последствиям для организма.

Для обеспечения безопасности людей используются различные радиационно-защитные материалы. Они могут быть как органическими, так и неорганическими, с добавками и наполнителями, которые придают им уникальные свойства. Эти свойства определяют, где и как можно применять данные материалы [1-17].

Одним из ключевых методов контроля радиации является использование высокоточных приборов, таких как радиометры и дозиметры. Эти устройства позволяют измерять уровень радиации в атмосфере, почве, воде, пищевых продуктах и даже в космосе. На основе полученных данных можно определить радиационный фон и оценить потенциальный риск для здоровья человека, находящегося за пределами земной атмосферы. В настоящее время среди новейших

методов радиационного контроля в космосе можно выделить пассивные системы, магнитные поля и электростатические методы защиты. Разработка таких программ представляет собой первый шаг к длительным межпланетным перелетам, в первую очередь к полету на Марс. Из этого следует сделать вывод, что разработка и испытания радиационной защиты космических аппаратов должны быть проведены уже в рамках российской лунной программы [18].

В разработке [19] представлен композит для защиты от космической радиации, включающий в себя кремнийорганическую жидкость, порошок оксида тяжелого металла, отличающийся тем, что в качестве составляющих компонентов содержит политетрафторэтилен (матрица), а используемую кремнийорганическую жидкость «Пента-808» применяют в качестве модификатора поверхности оксида висмута Bi_2O_3 при следующем соотношении компонентов, мас. %: политетрафторэтилен 37-45 модифицированный оксид висмута Bi_2O_3 55-63 кремнийорганическая жидкость «Пента-808», взятая по отношению к массе чистого Bi_2O_3 0,8-1,0. Изобретение относится к области защиты от ионизирующего излучения и может применяться в качестве защиты электронных приборов космического аппарата (КА), работающего на геостационарной орбите, от воздействия поражающего фактора магнитных бурь.

Также к одной из разработок в области защитных материалов относится полимерный композит для защиты от космической радиации. Изобретение относится к области космического материаловедения, в частности к разработкам материалов, обеспечивающих дополнительную защиту элементной базы, отдельных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры от повреждающего воздействия ионизирующего излучения космического пространства. Задачей предлагаемого изобретения является получение полимерного композита для защиты от космической радиации с широким температурным диапазоном эксплуатации композита и высокими прочностными и радиационно-стойкими характеристиками при его минимальной плотности. Это достигается тем, что полимерный композит для защиты от космической радиации включает полимерное связующее и модифицированный висмутсодержащий наполнитель. В качестве полимерного связующего используется полиимид, в качестве модифицированного висмутсодержащего наполнителя - силикат висмута $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ при следующем соотношении компонентов: полиимид - 25-46 мас. %; модифицированный силикат висмута $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ - 54-75 мас. % [22].

Из выше сказанного видно, что применение защитных материалов в условиях космоса ориентировано на обеспечение безопасности экипажа и оборудования от космической радиации. Эти материалы играют ключевую роль в сохранении здоровья астронавтов при длительных полетах, особенно при миссиях на Луну и Марс, где радиационное воздействие выше. Это повышает безопасность и эффективность миссий, расширяя перспективы для будущих исследований и колонизации космоса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиационно-защитные железооксидные матрицы для кондиционирования жидких радиоактивных отходов АЭС / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 163-167.
2. Павленко, В. И. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 22-25.
3. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 35-39.
4. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 39-40.
5. Матюхин, П. В. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-1. – С. 148-152.
6. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.
7. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51, № 11. – С. 66-71.
8. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide / A. I. Gorodov, A. A. Mogutova, P. V. Matyukhin, D. S. Romanyuk // Journal of

Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388, No. 1. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012116.

9. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Ю. М. Бондаренко, П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребиский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 120.

10. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

11. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

12. Матюхин, П. В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матюхин Павел Владимирович. – Белгород, 2004. – 170 с.

13. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

14. Снижение радиоактивных загрязнений поверхности стальных конструкций радиационно-защитного транспортного контейнера на основе железорудного сырья КМА / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 228-234.

15. Патент № 2572271 С1 Российская Федерация, МПК В22F 1/02, С01В 6/34. Способ нанесения боросиликатного покрытия на частицы гидрида титана : № 2014131233/02 : заявл. 28.07.2014 : опубл. 10.01.2016 / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, О. В. Куприева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", г. Белгород.

16. Использование органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету / З. В. Павленко, Л. В. Денисова, П. В. Матюхин, Д. А. Иваницкий // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9-3. – С. 515-518.

17. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

18. Ребеко, А.Г. Защита людей и космических аппаратов в космосе: Инженерный журнал: Науки и инновации. / А.Г. Ребеко // Академические чтения по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых, пионеров освоения космического пространства. - Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016 г. №26. С. 19.

19. Пат. 2515493 Российская Федерация, МПК G21F 1/10. Композит для защиты от космической радиации / В.И. Павленко, Д.Г. Тарасов, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" – 2012148234/04; заявл. 12.11.2012; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13 – 1-3 с.

20. Пат. 2673336 Российская Федерация, МПК G21F 1/10. Полимерный композит для защиты от космической радиации и способ его получения / В.И. Павленко, Ю.В. Лончаков, Ю.А. Дерябин, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский, А.Ю. Дерябин, А.В. Павленко, В.А. Манаев; заявители и патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"; Федеральное государственное

бюджетное учреждение “Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А Гагарина” – 2017136496; заявл. 16.10.2017; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 33 – 1-5 с.

УДК 67.02;621.926.5

Бражник Ю.В., Науменко В.В., Калашник И.А.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Анализ исследований в области приготовления строительных смесей показывает, что совершенствование технологических режимов смешивания является важным резервом улучшения их физико-механических свойств. Условия приготовления смеси должны не только обеспечивать ее хорошую однородность, но и способствовать формированию определенной структуры смеси, что улучшает его механические свойства. Одним из факторов, который определяет получение качественных смесей, является продолжительность смешивания, причем, для разных смесей и типов смесителей она может быть различной.

В некоторых исследованиях предлагается увеличивать продолжительность смешивания, но это приводит к уменьшению производительности машин. Поэтому оправдано стремление другими способами повышать качество смесей и интенсифицировать процесс смешивания[6].

Вопросу создания высокоэффективных и универсальных бетоносмесителей серьезное внимание уделяется за рубежом. В целях повышения качества продукции на бетонных заводах ФРГ используют машины с регулируемой скоростью вращения лопастных механизмов.

Исследования технологии приготовления бетонных и растворных смесей показывают, что при эффективной механической обработке компонентов в процессе их смешивания достигается не только более равномерное смешивание, но и повышается активность вяжущих, усиливается степень гидратации и ускоряется твердение бетона[1].

Исследованиями бетоноведов установлено, что более половины потенциально возможных вяжущих свойств цемента при приготовлении бетонных и растворных смесей остаются неиспользованными. Известно, что только весьма мелкие (менее 10

мкм) зерна цемента при взаимодействии с водой полностью обращаются в коллоидный цементный клей. Более крупные зерна образуют клей только на поверхности, а ядра зерен выполняют роль микрозаполнителей в цементном камне. "Поверхностный" клей препятствует проникновению воды к еще непрореагировавшему цементному ядру, а сам процесс образования коллоидного клея приходит к самозатуханию вследствие адсорбционного и химического диспергирования цементных зерен.

Взросшие требования к качеству строительных материалов обусловили необходимость получения бетонных смесей высокой однородности с возможно более полным использованием активных свойств вяжущего материала. Интенсивное механическое воздействие, которое достигается значительной скоростью вращения смесительного механизма, позволяет решить эту задачу.

Многочисленные исследования показали, что с увеличением скорости вращения лопастного механизма смесительных машин повышается качество смесеобразования, уменьшается продолжительность процесса смешивания и он значительно интенсифицируется. Исследуя процесс смесеобразования в растворосмесителях, В.Д. Мартынов отмечает, что с ростом скорости движения лопастей увеличивается зона "возбуждения" и интенсивности перемешивания. Было установлено, что ширина зоны перед движущей лопастью в интервале скоростей от 0,5 м/с до 1,5 м/с увеличивается прямо пропорционально скорости, а затем темп увеличения ширины зоны "возбуждения" снижается. Это объясняется тем, что при большой скорости соседние с лопастью участки не успевают вовлекаться в движение из-за кратковременности воздействия лопасти и инерции массы раствора. При этом ширина зоны "возбуждения" для более пластичных растворов выше, чем для жестких, так как в последних зонах турбулентное движение не распространяется по всему объему смеси, а гаснет на довольно близких расстояниях от движущейся лопасти[2].

Вероятно, аналогичные процессы будут происходить и при приготовлении бетонных смесей в двухваловых смесителях непрерывного действия. Таким образом, повышение частоты вращения лопастных валов увеличит не только число воздействий на смесь в единицу времени, но и количество смеси, вовлекаемое в процесс смешивания.

Установлено, что при исследовании влияния окружной скорости лопасти на качество смешивания нецелесообразно увеличивать скорость лопасти более 3 м/с, так как начинается усиленное

подбрасывание смеси и растет удельная мощность, расходуемая на перемешивание.

Значительны и интересны результаты, полученные в этой области исследования И.К. Шараповым. Он установил, что при частоте вращения лопастных валов в диапазоне $1,1 \div 1,4 \text{ с}^{-1}$ качество остается неизменным, несмотря на некоторое уменьшение продолжительности смешивания. Последнее объясняется более интенсивным смешиванием массы при увеличении частоты вращения лопастных валов и сокращением времени, необходимого для получения однородной смеси. При увеличении частоты вращения $1,4 \text{ с}^{-1}$ наблюдалось уменьшение прочности бетона и рост неоднородности. Автор объясняет это тем, что под влиянием центробежных сил и упругого удара частицы отбрасываются к периферии, и происходит расслоение смешиваемой массы. Это подтверждается визуальными наблюдениями, при большой частоте вращения лопастных валов на выходе бетонной массы из смесителя цементно-песчаная смесь движется в центре, а щебень отбрасывается к периферии.

Экспериментально было установлено, что нагрузка на лопасть не зависит от скорости движения лопасти в смешиваемой среде и изменяется от нуля до максимальных значений в зависимости от положения лопасти, т.е. от угла поворота лопастного вала. Определенному углу поворота соответствует нагрузка на лопасть одинаковая для различных частот вращения лопастных валов, в интервале $0,8 \div 2,0 \text{ с}^{-1}$. И еще один, на наш взгляд, важный вывод: сопротивление движению лопасти не зависит от скорости ее движения в массе. И.К. Шарапов объясняет это тем, что бетоны и строительные растворы по своим физико-механическим свойствам приближаются к вязко-пластичным средам, которые характеризуются структурной вязкостью, зависящей от движения среды. А так как с увеличением градиентов скоростей структурная вязкость уменьшается, автор предполагает, что для исследованного диапазона скоростей ($0,89 \div 2,10 \text{ м/с}$) возрастание сопротивления при увеличении скорости лопасти компенсируется уменьшением структурной вязкости среды [3, 5].

Несмотря на бесспорную ценность проведенного исследования, мы считаем целесообразным уточнить влияние частоты вращения валов в смесителе непрерывного действия на однородность смеси и прочность бетона из нее.

Е.А. Разварин считает, что увеличение скорости движения смесительного механизма является одним из основных требований к растворосмесителям, так как это один из путей доиспользования вяжущих свойств цемента. При увеличении скорости смешивания

частицы дробятся на более мелкие, в результате чего увеличивается пластичность растворов и прочность полученного цементного камня. Кроме того, при больших скоростях имеет место повышение температуры смеси за счет потери энергии на трение в вязкой среде и тепла, освобождающегося при гидратации цемента. По данным автора прочность растворов, приготовленных в скоростном смесителе, на 70-85% больше, чем в обычных смесителях, при этом время смешивания уменьшается в 5-6 раз[4].

Таким образом, учитывая вышеизложенное, в настоящее время нельзя сделать определенный вывод об оптимальности предложенных решений в отношении скоростного режима применительно к лопастным смесителям непрерывного действия для получения различных строительных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси.- М.: Стройиздат, 1976, - с. 145.
2. Мартынов В.Д. Выбор рабочих режимов и оптимальных параметров рабочих органов растворосмесителей. – Строительные и дорожные машины, 1962, №1, - с.29-31
3. Шарапов И.К. Исследование лопастных бетоносмесителей непрерывного действия: Автореф.дис.канд.техн.наук. – М.,1962, - 21 с.
4. Разварин Е.А. Исследования режимов работы высокоскоростных смесителей и определение их рациональных параметров: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Л., 1969, - С.19.
5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Бражник А.А., Каторин И.С., Скворцов Д.С. Анализ взаимодействия рабочих органов смесителей с различной перерабатываемой средой // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XIX. – 2020. – С. 156–155.
6. 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.

Брижанев А.А., Шаталов Д.А.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ КОРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЯЖУЩЕЙ МАТРИЦЫ АРБОЛИТА

Современное развитие строительного материаловедения всё в большей степени ориентировано на снижение ресурсоёмкости производства, вовлечение вторичного сырья и отходов в технологические циклы, а также уменьшение доли энергоёмких компонентов в составе строительных материалов. Одним из перспективных направлений является разработка композиционных материалов, в которых органические и минеральные отходы используются не как побочный продукт, а как функциональный сырьевой компонент.

К числу таких материалов относится арболит -лёгкий древесно-цементный композит. Арболит сочетает сравнительно низкую плотность, удовлетворительные теплоизоляционные свойства и возможность использования отходов деревообработки.

В соответствии с ГОСТ 19222–2019 арболит и изделия из него применяются в качестве конструкционных и теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций зданий [1].

При этом традиционная технология арболита во многом зависит от портландцемента как основного вяжущего. С одной стороны, цемент обеспечивает формирование прочного минерального каркаса, сцепление с древесным заполнителем и набор эксплуатационных свойств. С другой стороны, высокая доля цемента увеличивает себестоимость материала и снижает общий экологический эффект от использования древесных отходов. В связи с этим актуальным становится поиск дополнительных минеральных компонентов, способных частично заменить цемент или модифицировать структуру вяжущей матрицы.

Одним из таких компонентов может быть зола от сжигания коры. Кора является распространённым отходом лесопереработки и деревообрабатывающих производств. При её сжигании образуется зола, содержащая оксиды кальция, кремния, калия, магния и другие минеральные соединения. Такая зола потенциально может рассматриваться как компонент композиционного вяжущего, однако её свойства зависят от породы древесины, условий сжигания,

температуры, степени измельчения и содержания несгоревшего углерода [4; 7].

В отличие от обычных лёгких бетонов, где минеральный заполнитель химически относительно инертен, в арболите древесная щепка активно влияет на процессы структурообразования. Древесина обладает высокой пористостью, способностью к водопоглощению, содержит растворимые органические вещества, сахара и экстрактивные компоненты, которые могут замедлять гидратацию цемента и ухудшать сцепление на границе «древесина -цементная матрица» [2, с. 63–70; 3, с. 370–377].

Вяжущая матрица в арболите выполняет несколько функций: она связывает частицы древесной щепы в единую пространственную структуру, обеспечивает передачу нагрузки между частицами заполнителя, формирует защитную минеральную оболочку вокруг древесных частиц, снижая их водопоглощение и повышая биостойкость материала, определяет прочность, водостойкость, усадочные деформации и долговечность арболита.

Качество вяжущей матрицы зависит от водоцементного отношения, расхода вяжущего, вида цемента, наличия минеральных добавок, дисперсности компонентов, а также условий твердения. Для арболита особенно важным является не только набор прочности цементного камня, но и формирование устойчивого контакта между матрицей и древесной щепой. Недостаточное сцепление приводит к снижению прочности при сжатии и изгибе, повышенному водопоглощению и увеличению неоднородности структуры.

В традиционных составах арболита роль основного вяжущего выполняет портландцемент. Однако его частичная замена минеральными добавками может способствовать формированию более плотной структуры, снижению пористости, регулированию водопотребности и повышению ресурсосберегающего эффекта технологии.

Зола древесной биомассы является минеральным остатком, образующимся после термического разложения органической части древесины или коры. По сравнению с золами угольного происхождения она характеризуется более высокой вариативностью состава. Это связано с различиями в породе древесины, условиях произрастания, составе коры, температуре сжигания, режиме подачи воздуха и способе улавливания золы [4; 6]. В составе древесной и коровой золы обычно присутствуют оксиды кальция, кремния, алюминия, магния, калия, натрия, железа и фосфора. При этом зола коры может отличаться

повышенным содержанием минеральных примесей, щёлочных соединений и растворимых солей.

С точки зрения формирования вяжущей матрицы арболита зола коры может выполнять несколько возможных функций. Она может действовать как минеральный микронаполнитель. Тонкодисперсные частицы золы способны заполнять поры между зёрнами цемента и продуктами гидратации, повышая плотность цементного камня. Такой эффект особенно важен для арболита, поскольку материал имеет выраженно пористую структуру. А при наличии активного кремнезёма и алюмосиликатных фаз зола может проявлять пуццоланическую активность, взаимодействуя с гидроксидом кальция, образующимся при гидратации портландцемента. В результате возможно образование дополнительных гидросиликатов кальция, которые повышают плотность и прочность матрицы [4; 6, с. 27–33].

Несмотря на потенциальные преимущества, применение золы от сжигания коры в составе вяжущего для арболита связано с рядом технологических ограничений: нестабильность химического состава, содержание несгоревшего углерода, наличие растворимых солей, повышенная водопотребность золосодержащей смеси, совместимость с древесным наполнителем.

Для обоснованного применения золы от сжигания коры в составе вяжущей матрицы арболита необходимо провести экспериментальную проверку по нескольким направлениям:

- характеристика золы коры. Эти показатели позволят оценить, может ли зола выполнять функцию активной минеральной добавки или преимущественно будет работать как инертный микронаполнитель.
- подбор дозировки золы. На начальном этапе целесообразно рассмотреть составы с частичной заменой цемента золой в пределах 5, 10, 15 и 20 % от массы вяжущего.
- оценка свойств вяжущей матрицы без древесного наполнителя. Это позволит отделить влияние золы на цементную систему от влияния древесной щепы.
- изготовление образцов арболита с золосодержащим вяжущим. Основными показателями могут быть средняя плотность, прочность при сжатии, водопоглощение, влажность, теплопроводность и внешний вид образцов.

- исследование контактной зоны «щепа - вяжущая матрица». Этот аспект является принципиальным для понимания влияния золы коры.

Анализируя вышеизложенное, наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является разработка экспериментальных составов арболита с частичной заменой цемента

золой коры в количестве 5–20 % от массы вяжущего с последующим определением прочности, средней плотности, водопоглощения, теплопроводности и качества контактной зоны «древесная щепка - вяжущая матрица».

Таким образом, применение золы от сжигания коры в составе вяжущего для арболита может стать технологически и экологически оправданным решением при условии научно обоснованного подбора состава, предварительной подготовки золы и экспериментального подтверждения эксплуатационных характеристик материала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 19222–2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2019. 37 с.
2. Sanaev V.G., Zaprudnov V.I., Gorbacheva G.A., Oblivin A.N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2016. Vol. 9, no. 2. P. 63–70.
3. Jorge F.C., Pereira C., Ferreira J.M.F. Wood-cement composites: a review // Holz als Roh- und Werkstoff. 2004. Vol. 62. P. 370–377.
4. Teker E.E., Andreas L., Cwirzen A., Habermehl-Cwirzen K. Wood Ash as Sustainable Alternative Raw Material for the Production of Concrete—A Review // Materials. 2023. Vol. 16, no. 7. Art. 2557.
5. Tamanna K., Raman S.N., Jamil M., Hamid R. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 237. Art. 117654.
6. Nascimento L.C. et al. Use of wood bottom ash in cementitious materials: a review // Journal of Materials Research and Technology. 2023. Vol. 23. P. 4226–4243.

¹Бусленко А.В., ¹Никонов И.В., ^{1,2}Новиков И.С.

Научный руководитель: ^{1,2}Анциферова А.А., канд. физ.-мат. наук, доц.

*¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва, Россия*

*²Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет), Московская область,
г. Долгопрудный, Россия*

РОЛЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Эссенциальные микроэлементы относятся к числу незаменимых компонентов питания человека и играют важную роль в обеспечении метаболического гомеостаза. Несмотря на крайне низкое содержание в тканях организма, данные элементы участвуют в регуляции активности многочисленных ферментов, поддержании редокс-баланса, реализации иммунных реакций и процессах клеточной сигнализации. Особое место среди эссенциальных микроэлементов занимают селен, цинк, медь и марганец, являющиеся структурными или функциональными компонентами ферментативной системы антиоксидантной защиты.

Целью данной работы является анализ литературных данных и материалов монографии В.К. Мазо, И.В. Гмошинского и Л.И. Шириной, посвящённых биологической роли эссенциальных микроэлементов и их участию в поддержании антиоксидантного статуса организма.

Согласно современным представлениям, элемент может быть отнесён к эссенциальным при наличии ряда критериев: постоянного присутствия в организме, выполнения специфической физиологической функции, развития характерных нарушений при дефиците и возможности коррекции данных нарушений после восполнения недостатка элемента. Недостаточная обеспеченность организма микроэлементами сопровождается нарушением функционирования ферментативных систем и рассматривается как один из факторов развития хронического окислительного стресса.

Селен является важнейшим компонентом семейства селенопротеинов, содержащих селеноцистеин. Наиболее значимыми представителями данной группы являются глутатионпероксидазы и тиоредоксинредуктазы, обеспечивающие инактивацию перекисных соединений и поддержание внутриклеточного редокс-гомеостаза. Помимо антиоксидантной функции, селен участвует в регуляции

обмена тиреоидных гормонов посредством йодтирониндейодиназ и оказывает влияние на процессы иммунной регуляции.

Цинк входит в состав сотен ферментов и регуляторных белков. Особое значение имеет его участие в функционировании Cu/Zn-супероксиддисмутазы — одного из ключевых ферментов антиоксидантной защиты клетки. Цинк обеспечивает структурную стабильность белков, регулирует активность факторов транскрипции, участвует в синтезе нуклеиновых кислот и индуцирует образование металлотионеинов, выполняющих функции внутриклеточных антиоксидантов и депо металлов.

Медь является переходным металлом с переменной валентностью, что определяет её участие в реакциях переноса электронов и функционировании оксидоредуктаз. Медь входит в состав цитохром-с-оксидазы, церулоплазмينا, супероксиддисмутазы, лизилоксидазы и ряда других металлоферментов. Благодаря этому она участвует в процессах тканевого дыхания, метаболизме железа, формировании соединительной ткани и функционировании нервной системы.

Марганец выступает кофактором ряда ферментов промежуточного обмена и является структурным компонентом митохондриальной супероксиддисмутазы (Mn-СОД). Данный фермент обеспечивает защиту митохондрий от повреждающего действия супероксидного анион-радикала, образующегося в процессе клеточного дыхания. Кроме того, марганец участвует в метаболизме углеводов и липидов, биосинтезе белка и процессах минерализации костной ткани.

В физиологических условиях образование активных форм кислорода является неизбежным следствием аэробного метаболизма. Основным источником активных форм кислорода в клетке являются митохондрии, где вследствие утечки электронов из дыхательной цепи происходит частичное восстановление молекулярного кислорода с образованием супероксидного анион-радикала. Детоксикация активных форм кислорода осуществляется посредством согласованной работы супероксиддисмутаз, глутатионпероксидаз и тиоредоксиновой системы. Эффективность функционирования данной ферментативной системы антиоксидантной защиты напрямую зависит от обеспеченности организма эссенциальными микроэлементами.

Важным аспектом микроэлементного обмена является биодоступность. Уровень обеспеченности организма определяется не только количеством поступающего элемента, но и эффективностью его всасывания, транспорта и включения в метаболические процессы. В связи с этим значительный интерес представляют биотехнологические подходы к получению органических форм микроэлементов с

использованием дрожжей, молочнокислых бактерий и микроводорослей. Такие формы микроэлементов во многих случаях характеризуются более высокой биодоступностью и рассматриваются как перспективная основа функционального питания.

Таким образом, селен, цинк, медь и марганец являются важнейшими структурными и функциональными компонентами ферментативной системы антиоксидантной защиты и регуляторами клеточного метаболизма. Нарушение обеспеченности организма данными элементами сопровождается снижением эффективности антиоксидантной защиты, изменением активности металлоферментов и развитием окислительного стресса. Совокупность литературных данных свидетельствует о том, что поддержание оптимального микроэлементного статуса является важным фактором сохранения метаболического здоровья и профилактики широкого спектра патологических состояний.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-19-00792).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мало В.К., Гмошинский И.В., Ширина Л.И. Роль эссенциальных микроэлементов в организме человека. – М., 2008.
2. Rayman M.P. Selenium and Human Health // The Lancet. – 2012. – Vol. 379. – P. 1256–1268. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)61452-9.
3. Brigelius-Flohé R., Maiorino M. Glutathione Peroxidases // Biochimica et Biophysica Acta. – 2013. – Vol. 1830. – P. 3289–3303. DOI: 10.1016/j.bbagen.2012.11.020.

УДК 623.746.4-519

Быковский М.М., Внуковская В.А., Малахов А.С.

Научный руководитель: Адамов Д.С., ст. преп.

Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия

НАЗЕМНАЯ АВТОНОМНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АПК

В настоящее время отечественное сельское хозяйство проявляет существенный интерес к использованию беспилотных авиационных систем (БАС) для обработки сельхозугодий. БАС представляет с собой

систему, состоящую из беспилотного воздушного судна (БВС) и наземного комплекса управления (НКУ) БВС. Использование БАС в сельском хозяйстве позволяет уменьшить количество полевых сотрудников, перерасход удобрений и топлива, а также автоматизировать процессы обработки полей. Однако, для достижения перечисленных преимуществ от эксплуатации БАС, необходимо обеспечить сантиметровую точность определения собственных координат БВС. Точность стандартной спутниковой навигационной системы (СРНС) ГЛОНАСС при использовании кодового метода составляет от 3 до 5 метров [1]. При использовании идеального приемного устройства для приема навигационной информации от нескольких СРНС, например, ГЛОНАСС и GPS, точность определения собственных координат БВС может достигать 0,6 и 0,7 метра соответственно [2]. При наличии радиоэлектронных помех или намеренном подавлении сигнала СРНС в период несанкционированного вмешательства в воздушное пространство использование данного метода навигации невозможно.

Увеличение стоимости дизельного топлива (ДТ) стало одной из причин популяризации БАС во многих отраслях промышленности России. За последние три года стоимость (ДТ) в России выросла на 61–63% [3]. Другой причиной является дефицит работников на предприятиях: доля занятых в АПК сократилась на 8–12% [4]. Возросли расходы на ручной труд. При сложившихся обстоятельствах одним из экономичных способов обработки полей является применение БАС.

Для навигационного обеспечения БВС используется два основных метода [5]. Первый метод спутниковый, который требует установки антенн на БВС. Спутниковая антенна принимает сигнал от нескольких спутников и вычисляет местоположение с погрешностью в 0,7-2,6 метра, что не позволяет обеспечить сантиметровую точность. При эксплуатации БВС на значительном удалении от экватора погрешность данной системы многократно возрастает [6]. Второй метод предполагает использование инерциальных навигационных систем (ИНС). Основу ИНС составляют гироскопы и акселерометры. В магистральных воздушных судах (ВС) применяется комплексирование СРНС и ИНС для коррекции растущей ошибки определения собственных координат ВС. На БВС установка двух систем негативно сказывается на летно-технических характеристиках БВС, так как вес совместного модуля превышает 10 килограмм. Акселерометры, устанавливаемые без дополнительных систем, накапливают ошибку со скоростью, неподходящую для использования при обработке полей.

Для решения данной проблемы был предложен подход с созданием локальной навигационной системы, привязанную к определённому полю. Данная система состоит из двух частей. Первая часть представляет из себя модульные стойки, имеющие точную геодезическую привязку. На стойки устанавливаются передатчики оптического сигнала в инфракрасном диапазоне. Данный сигнал модулируется частотой, которая является номером стойки. Вторая часть представляет из себя приемное устройство, устанавливаемое на БВС и подключаемое к ИНС. При пересечении луча приемное устройство фиксирует момент пересечения луча и вносит поправку в одну из координат с точностью до 10 сантиметров.

Для проверки работоспособности данной системы был собран прототип генератора частоты на базе микросхемы CD4011. К данному генератору был подключен генератор когерентного излучения. Для приёма сигнала было собрано приемное устройство с радиусом действия в 500 метров от стойки.

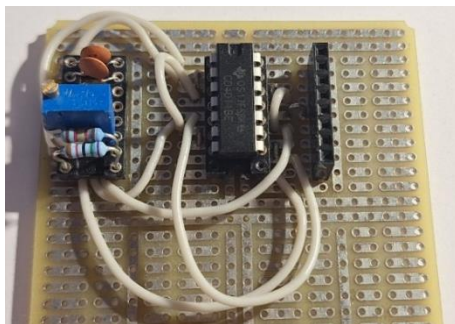


Рис. 1. Прототип задающего генератора сигнала

При проведении эксперимента в полевых условиях были получены данные результаты:

- диапазон частот генератора: 2 – 60 кГц ($\pm 0,05$ кГц);
- шаг сетки: 250 Гц;
- оптимальное расстояние между стойками: 500 метров;
- погрешность определения координат: не более 7 сантиметров.

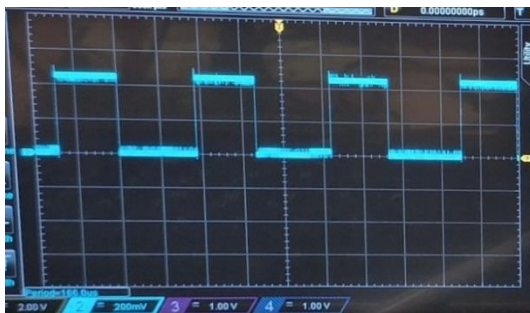


Рис. 2. Показания осциллографа, подключенного к принимающему устройству при проведении эксперимента

Данная система имеет серьёзные ограничения, связанные с погодными условиями. Но необходимо отметить, что сельскохозяйственные работы, связанные с обработкой полей, не производятся при плохих погодных условиях из-за возможного ухудшения воздействия пестицидов на сельскохозяйственные культуры. Поэтому в предложенной области эксплуатации упомянутое ограничение не влияет на эффективность работы БАС.

Традиционные методы навигации не могут эффективно работать в условиях реального сельского хозяйства. Наличие помех и намеренное подавление сигнала СРНС не позволяет их применять в полной мере. Разработанная система позволяет использовать уже установленные системы с системой постоянной корректировки в пределах рабочей зоны устройства, что дает возможность эксплуатировать БВС массой менее 30 килограмм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование способов повышения точности позиционирования за счет дополнительных наземных средств // naukaru.ru. – URL: <https://naukaru.ru> (дата обращения 12.05.2026)
2. Состояние и перспективы совершенствования орбитальных структур навигационных спутниковых систем // vestnikprib.bmstu.ru – URL: <https://vestnikprib.bmstu.ru> (дата обращения 12.05.2026)
3. Как менялись цены на топливо в России с 2022 по 2024 годы // Promrating.ru. – URL: <https://promrating.ru> (дата обращения: 20.11.2025).
4. Новости бизнеса // Business FM. – URL: <https://www.bfm.ru> (дата обращения: 20.11.2025).

5. Ерохин В.В., Дель А.Е. Особенности навигационного обеспечения БПЛА // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. – Иркутск, 2022. – С. 130–136.

6. Овсянкин, А. В. Средства навигационного обеспечения гражданской беспилотной авиации в условиях высоких широт / А. В. Овсянкин // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 2(40). – С. 105-113. – DOI 10.31799/2077-5687-2024-2-105-113. – EDN RHCLCJ.

УДК 629.735

Быценко М.В., Клименко М.А., Вычик В.П.
Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БЫСТРОСЪЕМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОЛЕЗНЫХ НАГРУЗОК НА БАС

Беспилотные авиационные системы (БАС) находят широкое применение в мониторинге инфраструктуры, аэрофотосъемке, доставке грузов, экологическом контроле и научных исследованиях [1, 2]. Эффективность эксплуатации напрямую зависит от способности платформы адаптироваться под конкретную задачу, что требует оперативной смены полезной нагрузки опτικο-электронных систем, лидаров, газоанализаторов, грузовых контейнеров, манипуляторов. Традиционные способы крепления предполагают индивидуальную подгонку, ручной монтаж кабелей и длительную калибровку, что увеличивает время подготовки, снижает надежность и ограничивает многофункциональность БАС. Разработка унифицированных быстросъемных модулей решает задачу минимизации массы конструкции, сохранения электромеханической целостности при смене оборудования, а также соответствия современным стандартам эксплуатации.

К быстросъемным модулям предъявляется комплекс технических и эксплуатационных требований. Масса узла крепления не должна превышать 5–7 % от максимальной взлетной массы БАС, чтобы не критично влиять на энерговооруженность и время полета [3]. Допустимое смещение центра масс при установке различных нагрузок ограничивается 15 мм по продольной и поперечной осям. Конструкция должна сохранять работоспособность при вибрационных нагрузках в диапазоне с ускорением до 15 g и одиночных ударах до 30 g, а также перепадах температур от -40 до +60 °C. Механизм фиксации обязан

обеспечивать усилие удержания не менее 500 Н при аварийных перегрузках, исключать самопроизвольное раскрытие. Электрические и интерфейсные соединения стандартизируются под бортовую шину 12/24 В.

Концепция модуля базируется на архитектуре с использованием самоцентрирующейся посадочной платформы и механического замка байонетного типа (Рис. 1).



Рис. 1. Быстросъемный модуль в сборе

Посадочное место выполняется с коническими направляющими и опорными плоскостями, что обеспечивает повторяемость позиционирования 0,1 мм и исключает перекос при установке. Фиксация реализуется подпружиненным кулачковым механизмом с визуальным и тактильным индикатором закрытого положения, а также механической чекой для предотвращения случайного срабатывания. Контактная группа размещается в герметичном многосекционном разъеме с позолоченными контактами и силиконовым уплотнением. Для снижения передачи высокочастотных вибраций на полезную нагрузку применяется демфирующий слой из полиуретанового эластомера. Конструкция предусматривает сквозные кабель-каналы с защитными гофрами и стяжками, исключающими перегиб и перетирание проводов при смене модулей.

Корпусные элементы выполняются из углепластика, что обеспечивает удельную прочность ≥ 150 МПа и коррозионную стойкость. Критически нагруженные детали: замок, направляющие, кронштейны, изготавливаются методом высокоточной ЧПУ-обработки с последующим анодированием или химическим никелированием [4]. Для снижения массы может применяться топологическая оптимизация и аддитивные технологии SLM при изготовлении сложных ребер жесткости и переходных втулок [5].

Для разработанного быстросъемного модуля был проведен прочностной расчет конструкции в программном комплексе АПМ FEM.

На основе конечно-элементной модели проанализировано напряженно-деформированное состояние посадочной платформы и механизма фиксации при действии эксплуатационных нагрузок, определены запасы прочности по критериям предельных напряжений и устойчивости, а также локализованы зоны концентрации напряжений (Рис. 2).

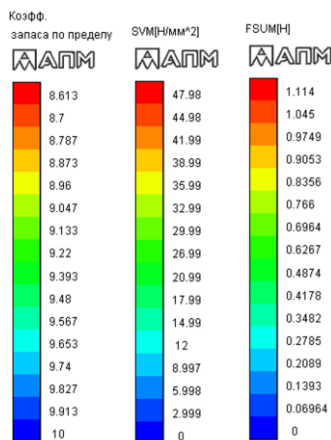


Рис. 2. Прочностной расчет конструкции соединения

Результаты моделирования подтверждают соответствие конструкции заданным требованиям по несущей способности и массе.

Предложенная конструкция быстросъемных модулей обеспечивает оперативную смену полезной нагрузки, сокращение времени подготовки БАС к вылету на 60–70 % и повышение надежности за счет исключения ручных соединений. Унификация механических и электрических интерфейсов, применение авиационных материалов и автоматизированное распознавание оборудования позволяют масштабировать решение на мультироторные и самолетные платформы массой от 2 до 50 кг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу о создании беспилотных летательных аппаратов / А. В. Вытовтов, А. В. Калач, А. А. Сазанова, Ю. М. Лебедев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 87-91.
2. Применение беспилотных авиационных систем в транспортно-логистическом комплексе региона / Н. С. Любимый, Б. С. Четвериков,

И. В. Топилин, А. А. Феофилова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-3(87). – С. 134-142.

3. Куцеев, В. В. Многофункциональный сельскохозяйственный беспилотный летательный аппарат / В. В. Куцеев, А. А. Меркулов // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Мичуринск, 24–26 октября 2018 года / Под общей редакцией В.А. Солопова. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. – С. 258-262.

4. Разработка БПЛА для обследования технического состояния ЛЭП и объектов энергетики / П. В. Терентьев, Д. А. Филатов, Д. А. Мартюхин, П. Н. Колесов // Неделя Науки 2023 : Материалы Всероссийской (национальной) научно- практической конференции студентов и молодых ученых, Нижний Новгород, 13–16 июня 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 63-70.

5. Касперович, О. М. Моделирование и 3D печать быстросъемного лючка для обслуживания БПЛА / О. М. Касперович, В. О. Говоровский, А. О. Тишевич // Беспилотные аппараты "БПЛА - 2025»: Сборник статей II Международного форума по беспилотным аппаратам. В 2-х частях, Минск, 30 сентября – 02 2025 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2025. – С. 117-118.

УДК 004.055, 004.5

Бычков М.Э.

*Научный руководитель: Лычкина Н.Н., канд. экон. наук
Московский университет «Синергия», г. Москва, Россия*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНТЕГРАЦИИ В ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Информационная интеграция в цифровых экосистемах государственного управления — ключевой фактор эффективности современных публичных услуг. Она обеспечивает бесшовный обмен данными между ведомствами, синхронизацию процессов и принятие управленческих решений на основе единой, достоверной информации. Без согласованных механизмов интеграции цифровые платформы остаются изолированными «островами данных», что ведёт к дублированию функций, задержкам в обслуживании граждан и повышенным рискам безопасности. Настоящая статья рассматривает эволюцию информационных систем и методов архитектурного дизайна

в публичном секторе, выделяет современные практики и формулирует практические рекомендации, направленные на снижение рисков и обеспечение информационной интеграции в рамках цифровизации государственного управления.

Технический долг наследованных систем, фрагментация семантики данных, дефицит квалифицированных архитекторов, конфликты между скоростью поставки и законодательными требованиями, а также риски безопасности все это оказывает негативное влияние на архитектуру цифровой экосистемы. Для практики необходимы интегрированные меры. Например, использование единой структуры дизайна, переход к «API-first» и модульной архитектуре, внедрение процесса непрерывной интеграции и доставки данных (далее «CI/CD») и облачных решений с проверкой к требованиям безопасности, наращивание компетенций и программ переквалификации, а также пилотное внедрение «AI/ML» приложений в ландшафт цифровой экосистемы.

Развитие архитектурных подходов прошло несколько этапов: от ведомственных монолитных систем с минимальной интеграцией до общепринятых практик. Изначально доминировали мейнфреймы и монолитные приложения, где каждая организация выстраивала свои решения, часто независимо от других, что приводило к дублированию данных. С развитием IT осознали необходимость создания общих метамodelей. На этапе внедрения методов и инструментов «Enterprise Architecture» (далее «EA») появились первые попытки типизировать архитектурные решения, стандартизировать обмен данными и выстроить реестры приложений. Затем облачное хранение, контейнеризация и «DevOps» открыли возможности для быстрого развертывания сервисов и гибкого масштабирования.

Современные методы архитектурного дизайна в госсекторе основываются на нескольких принципах и инструментах, связанных между собой. Во-первых, «EA» служит каркасом для согласования стратегии, процессов, данных, приложений и инфраструктуры, а фреймворки и нотации помогают унифицировать артефакты и принимать обоснованные архитектурные решения. Во-вторых, подход «API-first» и политика единого слоя интеграции позволяют разделить взаимодействие и реализацию, ускорить переиспользование сервисов и централизовать управление доступом посредством API-шлюзов и спецификаций «OpenAPI». В-третьих, микросервисная архитектура и контейнеризация обеспечивают модульность, независимое развертывание и масштабирование, что снижает риски крупных обновлений и повышает отказоустойчивость информационных систем.

В-четвёртых, практики «SRE» и «CI/CD» повышают надёжность эксплуатации и скорость поставки, однако требуют формализованных процессов соответствия и контроля безопасности. Эти методы направлены на облегчение и ускорение выполнения государственных услуг в проектах цифровизации.

Хорошим примером для информационного слоя архитектуры, с точки зрения «ЕА», по управлению данными является Национальная система пространственных данных (далее НСПД), созданная и поддерживаемая Росреестром. Система позволяет муниципальным порталам существенно ускорить разработку и повысить качество геопро пространственных данных. Поскольку переиспользование готового API карт-компонента НСПД обеспечивает отрисовку кадастровых слоёв, масштабирование и работу с векторными данными. Помимо всего система позволяет унифицировать форматы данных к общепринятым форматам пространственных данных и гарантирует простое взаимодействие с другими ведомствами. В 2025 году была успешно проведена интеграция карт-компонента НСПД с порталом Государственных услуг, в дальнейшем планируется подключение ФИС «На Дальний Восток» и другими ведомственными информационными системами. Всё это не только снижает расходы на поддержание собственных геопро пространственных систем и повышает надёжность предоставления цифровых услуг гражданам, но и еще идеально вписывается в политику цифровой интеграции.

Успех цифровой интеграции требует не только внедрения современных технических практик, обеспечивающих информационную интеграцию в цифровых экосистемах, но и организационной готовности, таких как наличие центров компетенций, системы управления данными и встроенных практик безопасности и ориентированности на пользователя. Использование единого архитектурного подхода позволит перейти от множества разрозненных систем к гибкой, прозрачной и экономически эффективной цифровой экосистеме. Последовательное применение рассмотренных принципов и инструментов проектирования снизит возможные технические риски, повысит повторное использование данных и компонентов и обеспечит устойчивое развитие цифровых услуг в интересах общества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вершицкая Е.Р. Трансформация государственного управления в цифровую эпоху: анализ «электронного» и «цифрового» / Е.Р.

Вершицкая, А.Е. Згонникова // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2025. — № 6. — С. 30-38.

2. Ja. Beese. The impact of enterprise architecture management on information systems architecture complexity / Ja. Beese, S. Aier, K. Haki, R. Winter // European Journal of Information Systems. — 2023. — Vol. 32, No. 6. — P. 1070-1090.

3. Janssen M. Stages of Growth in e-Government: An Architectural Approach / M. Janssen, F. Veenstra // Stages of Growth in e-Government: An Architectural Approach. — 2020. — P. 193-200.

УДК 691.311

*Василов Д.А., Бухтияров И.Ю., Сонов А.Н.
Научный руководитель: Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гипсосодержащие отходы (ГСО) промышленных предприятий рассматриваются в качестве перспективной альтернативы природному гипсовому камню для производства строительных материалов [1–4]. При этом ГСО могут выступать как основным компонентом, так и функциональной добавкой.

Авторы [5] рассмотрели возможность получения шпаклевки из извести, которая была получена путем обработки фосфогипса (Уэльва, Испания) раствором NaOH, и провели сравнение с коммерческим известковым раствором двух марок, которое показало соответствие технологических показателей.

В исследовании [6] на основе β -полугидрата сульфата кальция, полученного обжигом фосфогипса, разработаны сухие строительные смеси для гипсовой штукатурки и шпатлёвки, полностью отвечающие современным технологическим требованиям.

Исследователями в [7], была рассмотрена возможность создания материалов на основе β -полугидрата, которые можно получить путем прокаливании фосфогипса при низкой температуре (160 °C), что было осуществлено на заводе удобрений Hubei Yihua Fertilizer Inc., Китай, полученный в результате фосфогипс применялся для производства пористого звукопоглощающего материала. При соблюдении следующего соотношения компонентов сырьевой смеси, в соотношении

веса от массы вяжущего: 1 % порообразующего агента, 1 % базальтового волокна и 6 % вспученного перлита, можно получить материал, который будет соответствовать требованиям по уровню шумоподавления китайскому стандарту (GB / T 16731-1997).

В результате исследований группе ученых [8, 9] удалось доказать возможность получения отделочной плитки, которая по своим характеристикам и свойствам будет аналогичной гипсокартону. Для получения полугидрата ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) был использован гипс, полученный из фосфогипса, находящегося в городе Ичан, провинция Хубэй, Китай. В соответствии с первым способом [9], фосфогипс получают путем промывания и обезвоженной сушки при постоянной температуре 150 °С, затем фосфогипс увлажняли с целью получения гранул, и далее производили прессование в водной среде при давлении в 20 МПа, которая осуществляется один раз в 2 мин в течение 24 часов, прочность на изгиб плитки составила 18,9 МПа. Во-втором случае дегидратация гипса происходила при температуре 170 °С, а условия для прессования были следующими: длительность – 3 ч, частота приложения нагрузки – через каждые 10 мин. Прочность на изгиб образцов составила 14,7 МПа.

На базе Уфимского государственного нефтяного технического университета были проведены исследования, которые направлены на изучение возможности получения мелкоштучных стеновых материалов и перегородочных камней из необработанного фосфогипса с полугидратом сульфата кальция методом прессования [10, 11].

В частности, авторы в работе [11] продемонстрировали возможность получения гипсового кирпича размером 250×120×65 мм, полнотелого перегородочного блока из гипса с размерами 120×190×590 мм и пределом прочности при сжатии 10,5 МПа (М100), а также стенового блока размером 250×120×138 мм, (с пустотностью около 30 %) с допустимым пределом прочности 5,4 МПа (М50).

Высокая эффективность применения метода полусухого прессования в процессе изготовления мелкоштучных изделий из отходов керамических производств (вышедшие из строя формы для литья, которые были изготовлены из гипса) подтверждена в многочисленных работах В.Б. Петропавловской и ее коллег [12–15]. Особенно это относится к работе, опубликованной в [12], где авторы показали возможность повышения эффективности использования отходов фаянсового производства, которые содержат гипс, путем оптимизации состава сырья с определенным размером частиц, а затем получения кирпича методом прессования. Это дало возможность создать изделия, предел прочности которых при сжатии может быть в

2–2,5 раза выше, а при добавлении микрокальцита показатель эффективности стенового изделия, изготовленного на основе природного гипса, в 3–6 раз выше, чем у аналогичных материалов, которые были изготовлены по традиционным технологиям.

Авторы [16] предложили использовать необработанный фосфогипс в качестве компонента тампонажной смеси, которая включает в себя: молотый гранулированный доменный шлак, тампонажный цемент, микрокремнезем, регуляторы водоотдачи (BXF200-L), замедлители схватывания. При поэтапном подборе компонентов, была проведена оптимизация состава таким образом, чтобы он соответствовал основным техническим требованиям для цементирования нефтяных скважин. Твёрдая суспензия фосфогипса, как считают авторы, способствует значимому расширению в период гидратации и имеет отличную возможность компенсировать усадку.

В работе [17] показана возможность создания пенобетона с использованием смеси фосфогипса, небольшого количества цемента и гранулированного шлака, которые предварительно смешиваются с негашёной известью. Применение различных рецептурно-технологических параметров позволило определить оптимальный состав: фосфогипс составляет 45–55 %, негашеная известь составляет 4 %; сульфоалюминатный цемент составляет 2 %; остальное это цемент и доменный гранулированный шлак, который составляет 1:1. Предпочтительные значения В/Т: 0,4–0,5. Одновременно, большая часть фосфогипса выступал в роли наполнителя, а небольшая его доля участвовала в формировании этtringита. По характеристикам плотности и теплопроводности полученные материалы полностью соответствовали требованиям китайских стандартов.

В исследовании [18], проведенном компанией Yun Nan были выделены условия, при которых возможно использование фосфогипса (завод по производству фосфорных удобрений Yun Nan, Китай) в составе смеси из следующих компонентов: цемент 15%, гранулированный доменный шлак 30 %, фосфогипс 55 %, гашеная известь 7 %, Na_2SO_4 1,6 %, алюминиевая пудра 0,074 %, алюминий в количестве 5 % и оптимальная температура пропаривания – 90 °С, для производства автоклавного бетона. Как отмечают авторы [18], фосфогипс может применяться не только в роли наполнителя, но ещё и в роли, а полученный газобетон по своим характеристикам прочности, морозостойкости и теплопроводности будет соответствовать требованиям китайских стандартов. Однако вопрос регулирования усадки нуждается в дальнейшей проработке.

В работе [19] авторами была рассмотрена возможность использования фосфогипса (завод Fertiberia, расположенный в городе Ульва, Испания) как компонента серно-полимерного бетона. Авторы показали, что при содержании фосфогипса в смеси 10–40 мас. % и при соотношении сера/фосфогипс 1:0,9 возможно получение образцов бетона с прочностью 54–62 МПа и общей пористостью – 2,8–6,8 %, при этом полученные материалы отвечают всем требованиям по радиологической безопасности и могут быть использованы без ограничений.

Таким образом, гипсосодержащие отходы, и в частности фосфогипс, могут быть использованы для производства широкой номенклатуры строительных материалов. При этом получаемые изделия обладают характеристиками, сопоставимыми с традиционными аналогами, а в ряде случаев и превосходящими их.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова, Н.И. Обзорный анализ особенностей образования и перспектив использования гипсосодержащих отходов в качестве альтернативы природному гипсовому сырью / Н.И. Алфимова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 11. – С. 20–35. – DOI:10.34031/2071-7318-2025-10-11-20-35

2. Характеристики шлакощелочного вяжущего с использованием комплексного активатора с гипсосодержащим отходом / Р.А. Глазков, Н.И. Кожухова, Л.Н. Боцман, И.В. Жерновская // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2026. – № 1. – С. 8–19. – DOI:10.34031/2071-7318-2025-11-1-8-19

3. Суперсульфатированные цементы: обзорный анализ особенностей свойств, сырья, перспектив производства и применения / Н. И. Алфимова, К. М. Левицкая, М. Ю. Елистраткин, И. Ю. Бухтияров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2024. – № 7. – С. 8–24. – DOI:10.34031/2071-7318-2024-9-7-8-24

4. Алфимова, Н.И. Использование фосфогипса как сырья для производства многокомпонентных вяжущих и сульфоалюминатных цементов / Н.И. Алфимова, К.М. Левицкая, А.Ф. Бурьянов // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 2(59). – С. 30–46. – DOI:10.54734/20722958_2024_2_30

5. Phosphogypsum waste lime as a promising substitute of commercial limes: A rheological approach / M.I. Romero-Hermida, A.M. Borrero-López, F.J. Alejandro [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2019. – Vol. 95. – Pp. 205–216. – DOI:10.1016/j.cemconcomp.2018.11.007

6. Винниченко, В.И. Строительные материалы на основе фосфогипса / В.И. Винниченко, Т.А. Костюк, Н.Н. Мокренко [и др.] // Сухие строительные смеси. – 2014. – №3. – С. 18–19.

7. Utilization of hemihydrate phosphogypsum for the preparation of porous sound absorbing material / B. Ma, Z. Jin, Y. Su [et al.] // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 234. – 117346. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.117346

8. Preparation of hardened tiles from waste phosphogypsum by a new intermittent pressing hydration / J. Zhou, Z. Sheng, T. Li [et al.] // Ceramics International. – 2016. – Vol. 42 (61). – Pp. 7237–7245 – DOI:10.1016/j.ceramint.2016.01.117

9. Preparation of paper-free and fiber-free plasterboard with high strength using phosphogypsum / J. Zhou, X. Li, Y. Zhao [et al.] // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 243. – 118091. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118091

10. Получение стеновых изделий на основе фосфогипса / Р.Н. Мирсаев, С.С. Юнусова, Р.А. Анваров [и др.] // Строительные материалы. – 2004. – №5. – С. 55.

11. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция / Р.Н. Мирсаев, В.В. Бабков, И.В. Недосеко [и др.] // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 6–9.

12. Faience waste for the production of wall products / K. Petropavlovskii, T. Novichenkova, V. Petropavlovskaya [et al.] // Materials. – 2021. – Vol. 14(21). – 6677. DOI:10.3390/ma14216677

13. Ресурсосберегающие безобжиговые гипсовые композиты / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова [и др.] // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 79–81.

14. Повышение технологических свойств безобжиговых гиперпрессованных гипсовых изделий / В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, А.Ф. Бурьянов [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 75–78.

15. Петропавловская, В.Б. Малоэнергоемкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности / В.Б. Петропавловская // Строительные материалы. – 2006. – №7. – С.8–9.

16. Hua, S. Developing high performance phosphogypsum-based cementitious materials for oil-well cementing through a step-by-step optimization method / S. Hua, K. Wang, X. Yao // Cement and Concrete Composites. – 2016. – Vol. 72. – Pp. 299–308. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2016.05.017

17. Utilization of original phosphogypsum for the preparation of foam concrete / T. Tian, Y. Yun, Z.H. Hu [et al.] // Construction and Building

Materials. – 2016. – Vol. 115. – Pp. 143–152. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2016.04.028

18. Yang, L. Utilization of phosphogypsum for the preparation of non-autoclaved aerated concrete / L. Yang, Y. Yan, Z. Hu // Construction and Building Materials. – 2013. – Vol. 4. – Pp. 600–606. — DOI:10.1016/j.conbuildmat.2013.03.070

19. Microencapsulation of phosphogypsum into a sulfur polymer matrix: physico-chemical and radiological characterization / F.A. López, M. Gázquez, F.J. Alguacil [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2011. Vol. – 192. – Pp. 234–245. – DOI:10.1016/j.jhazmat.2011.05.010

УДК 004.738.5:622.276:681.5

Васинкин К.А.

Научный руководитель: Кашаев Р.С., д-р техн. наук, проф.

Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, Россия

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА

Традиционные методы контроля, требующие постоянного вмешательства человека, оказываются недостаточными для эффективного управления процессами. Это приводит к значительным затратам на содержание объекта и необходимость постоянного мониторинга. В результате компании сталкиваются с повышенными расходами и неэффективным использованием ресурсов. Поэтому внедрение более автоматизированных и интеллектуальных решений становится критически важным для оптимизации процессов и снижения затрат.

Введение новых технологий в нефтегазовую отрасль становится все более актуальным в условиях роста потребностей в энергоносителях и необходимости повышения эффективности процессов. Мониторинг состояния качества нефти и нефтегазовой продукции играет важную роль в оптимизации управления ресурсами и повышении надежности операций. Разработка системы мониторинга скважинной жидкости на основе IoT и внедрение его в релаксометр ПМРА-IV представляет собой важный шаг в этом направлении.

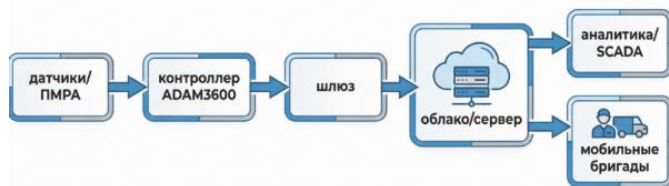


Рис. 1. Архитектура IoT-интеграции ПМРА-IV

Система Интернет вещей состоит из нескольких уровней устройств и сетей, использующих различные программные стеки и протоколы для связи. Конечные устройства IoT — это устройства, которые генерируют или выводят данные. К ним относятся встроенные датчики и исполнительные механизмы. Применение IoT в нефтегазовой отрасли открывает новые возможности для повышения эффективности и безопасности операций. Система мониторинга скважинной жидкости на основе IoT может отслеживать такие параметры, как уровень жидкости, температуру, наличие примесей и давление. Данные будут загружаться на облачный сервер, что обеспечит возможность удаленного доступа и анализа информации.

Крупные компании, такие как BP, Saudi Aramco и Shell, уже активно используют IoT для мониторинга состояния оборудования и оптимизации своих процессов. Это позволяет им своевременно выявлять проблемы, минимизировать риски аварий и снижать затраты на обслуживание. Реализовывается онлайн-сбор технологических параметров скважин путем дооборудования IoT-датчиками и подключения контроллера к датчикам, уже существующим в составе технологического оборудования. Все данные в зашифрованном виде передаются в АСУ ТП нефтяной компании.



Рис. 2. Алгоритм онлайн-диагностики качества скважинной жидкости на основе ПМРА-IV и IoT-технологий

Решение обеспечивает сбор и передачу технических данных о процессе добычи углеводородов в режиме реального времени и визуализирует их на рабочих местах специалистов и у сотрудников мобильных бригад. Накопленные данные позволяют формировать предиктивные модели и выполнять аналитические расчеты в специализированных отраслевых программных системах.

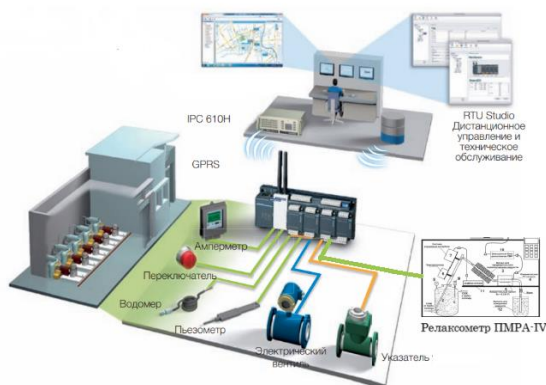


Рис. 3. Архитектура интеграции релаксометра ПМПА-IV в систему Интернета вещей IoT с контроллером ADAM3600

Эффект интеграции:

- повышение добычи углеводородов
- выявление количественных данных по состоянию нефти и нефтяных жидкостей
- получение достоверных данных для эффективного применения интегрированных моделей месторождений;
- предотвращение аварийных ситуаций на объектах добычи и снижение затрат на ликвидацию последствий аварий;
- повышение эффективности и сокращение затрат на выезды обслуживающего персонала.

Внедрение IoT-технологий в релаксометре ПМПА для экспресс-контроля скважинной жидкости позволяет значительно повысить эффективность предиктивного обслуживания. Датчики, установленные на приборе, могут отслеживать ключевые параметры, а также состояние самого оборудования. Это обеспечивает непрерывный мониторинг в реальном времени и позволяет заранее выявлять аномалии, что критично для предотвращения отказов.

Использование IoT в релаксометре ПМРА также позволяет автоматизировать процессы контроля скважинной жидкости. Это особенно важно для удаленных нефтяных месторождений, где ручное вмешательство может быть ограничено. Автоматизация процессов, таких как мониторинг производительности скважин и регулирование параметров добычи, способствует повышению общей эффективности работы. С помощью IoT-устройств операторы могут удаленно контролировать параметры скважин, оптимизируя дебит и соотношение воды и нефти. Это не только уменьшает зависимость от ручного труда, но и снижает вероятность человеческих ошибок, что в свою очередь повышает безопасность операций.

Интеграция IoT и датчиков в системы мониторинга качества нефти является значительным шагом в развитии нефтегазовой отрасли. Эти технологии делают процессы более прозрачными, безопасными и эффективными, помогая компаниям адаптироваться к требованиям современного рынка и повышать свою конкурентоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашаев Р. С. Автоматизация и интеллектуализация процессов в нефтегазовой отрасли. — Казань: КГЭУ, 2017. — 350 с.
2. Аверин А. В. Интернет вещей: основы, технологии, перспективы. — Москва: Интуит, 2018. — 256 с.
3. Смирнов А. В. Применение IoT в нефтегазовой промышленности. — Москва: Недра, 2020. — 288 с.
4. Макаров И. М., Лохин В. М., Шишков А. А. Теория автоматического управления. — Москва: Высшая школа, 2003. — 816 с.
5. Броуди А. Интернет вещей. Как технологии меняют нашу жизнь. — Москва: Альпина Паблишер, 2016. — 304 с.

Вдовина Ю.Н.

Научный руководитель: Перевузник В.С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ БПЛА

Задача автономной навигации беспилотного летательного аппарата в реальной среде включает не только построение маршрута, но и формирование актуальной модели окружающего пространства. Ошибка восприятия приводит к тому, что даже корректный планировщик работает с неполной картой и не может гарантировать предотвращение столкновения. Поэтому ключевым условием безопасности становится совместное решение задач обнаружения, классификации, прогнозирования движения препятствий и оперативной коррекции траектории.

В среде полёта присутствуют стационарные объекты (здания, деревья, линии электропередач, опоры), кооперативные динамические объекты с внешними источниками информации и некооперативные подвижные объекты (птицы, другие БПЛА, мобильные платформы). Наиболее сложным является последний класс, поскольку его обнаружение полностью определяется возможностями бортовых сенсоров. Обзоры методов предотвращения столкновений показывают, что перспективные решения должны объединять геометрическую, семантическую и вероятностную информацию об объектах [4, 5].

В работе использована модульная архитектура, объединяющая три сенсорных канала: LiDAR для получения метрически точного облака точек, RGB-камеру для извлечения контурно-семантических признаков и IMU для компенсации собственного движения аппарата. Согласование данных выполняется через внешнюю калибровку сенсоров, пространственную привязку облака точек к изображению и временную синхронизацию измерений [6]. Функциональная роль используемых сенсоров обобщена в таблице 1.

Таблица 1. Функциональная роль сенсоров в системе идентификации препятствий

Сенсор	Основная информация	Ограничения	Роль в методике
LiDAR	3D-геометрия, дальность, форма объекта	разреженность облака, слабая семантика	первичное выделение препятствий и оценка расстояния
RGB-камера	контуры, текстура, класс объекта	зависимость от освещённости	уточнение ROI и классификация препятствий
IMU	ускорения и угловые скорости БПЛА	накопление ошибки при интегрировании	стабилизация данных и компенсация движения

Общая последовательность обработки сенсорной информации и передачи результатов в планировщик представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Архитектура мультисенсорной идентификации препятствий и планирования траектории БПЛА

Статические препятствия выделяются методами кластеризации облаков точек и уточняются по контурной карте изображения. Для линейных объектов, например, ЛЭП, используются признаки вытянутости и малая дисперсия точек в поперечных направлениях; визуальный канал снижает риск ложного разделения одного объекта на несколько кластеров. Поверхностные препятствия описываются плоскостями, цилиндрами или локальными воксельными областями, которые затем преобразуются в зоны запрета движения.

Динамические препятствия требуют не только обнаружения, но и сопровождения во времени. Для этого применяется IMM-UKF, объединяющий несколько моделей движения: постоянной скорости,

постоянного ускорения и согласованного разворота. Вероятностное переключение между моделями позволяет учитывать изменение поведения объекта и временные пропуски измерений. На выходе формируются положение, скорость, направление движения и ковариация ошибки, необходимые для построения временных зон риска.

Интеграция результатов идентификации в планировщик выполняется через формирование ограничений конфигурационного пространства. Для статических препятствий задаются зоны запрета движения с учётом геометрического размера объекта, безопасного расстояния и неопределённости локализации. Для подвижных объектов дополнительно строится краткосрочный прогноз их будущего положения, что позволяет оценивать текущую и ожидаемую занятость пространства. Полученные данные могут использоваться в RRT*, MPC и VO/RVO, а при появлении нового препятствия инициируется локальная перепланировка маршрута [7].

Проверка работоспособности методики выполнена в симуляционной среде ROS 2 Humble, Gazebo и PX4 Autopilot с визуализацией в RViz, а также в натурных испытаниях на БПЛА «Сибирячок» и «Сибирь 2.1» с вычислительным контроллером Raspberry Pi и камерой Intel RealSense. Тестировались сценарии обнаружения ЛЭП, зданий, деревьев, столбов, динамических объектов и автономного обхода препятствий. Количественные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сводные показатели эффективности разработанной методики

Показатель	До слияния / без динамики	После слияния / полная интеграция	Эффект
Полнота обнаружения ЛЭП	72 %	94 %	+22 п.п.
Ошибка контура ЛЭП	0,85 м	0,42 м	снижение на 51 %
RMSE прогноза динамического объекта	1,37 м	0,82 м	снижение на 40 %
Потенциальные столкновения	17	4	снижение на 76 %
Плавность траектории	0,62 усл. ед.	0,83 усл. ед.	+34 %

Для наглядного сравнения относительные улучшения ключевых показателей приведены на рисунке 2.

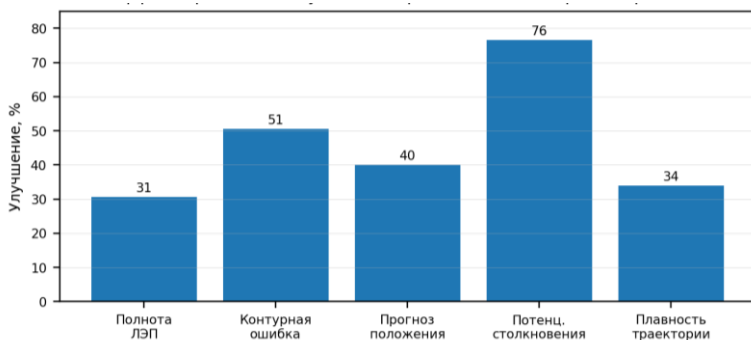


Рис. 2. Относительное улучшение показателей при использовании мультисенсорного слияния, IMM-UKF и учёта динамики препятствий

Полученные результаты подтверждают, что объединение LiDAR, RGB-камеры и IMU повышает устойчивость восприятия в условиях неполных и шумовых измерений. Наибольший эффект наблюдается при обнаружении тонких линейных объектов: полнота выявления ЛЭП возрастает на 22 процентных пункта, а средняя ошибка аппроксимации их контура уменьшается более чем в два раза. Использование оптического потока и компенсации собственного движения БПЛА снижает число ложных динамических детекций и повышает стабильность SLAM-картирования.

При передаче прогнозируемых положений динамических объектов в планировщик траектории снижается число потенциальных столкновений, уменьшается задержка перепланировки и возрастает плавность маршрута. Это особенно важно для групповых сценариев, где несколько БПЛА одновременно выполняют команды в общей среде. Проведённые вычислительные эксперименты с генетическим алгоритмом оптимизации траектории показали возможность адаптивного обхода препятствий при ограниченной начальной видимости и появлении новых объектов на маршруте [1–3].

В статье обобщена методика обеспечения безопасности полёта БПЛА за счёт комплексной идентификации статических и динамических препятствий. Научная новизна подхода состоит в совместном использовании метрической информации LiDAR, контурно-семантических признаков RGB-камеры, стабилизирующих

данных IMU и вероятностного сопровождения динамических объектов на основе IMM-UKF. Такое представление позволяет формировать актуальные геометрические и временные ограничения для планировщика траектории.

Экспериментальные результаты показывают, что предложенная методика повышает полноту обнаружения препятствий, уменьшает ошибку геометрического описания объектов, улучшает прогнозирование динамической обстановки и снижает риск столкновений. Дальнейшее развитие работы целесообразно направить на расширенные полевые испытания в условиях осадков и слабой освещённости, интеграцию радара или тепловизора, а также на разработку формальных критериев безопасности для компонентов, основанных на машинном обучении.

Работа выполнена при поддержке государственного задания FRRU-2024-0003 № 217ФБ научно-исследовательской лаборатории беспилотных летательных аппаратов ФГБОУ ВО ДонГТУ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pham H., Nguyen T., Lee K. A survey on collision avoidance systems for unmanned aerial vehicles. - 2015. - arXiv:1508.07723.
2. Merei A., Mcheick H. A Survey on Obstacle Detection and Avoidance Methods for UAVs // Drones. - 2025. - V. 9. - No. 3. - Article 203.
3. Ma Z., Yao W., Niu Y., Lin B., Liu T. UAV low-altitude obstacle detection based on the fusion of LiDAR and camera // Autonomous Intelligent Systems. - 2021. - V. 1. - Article 12.
4. Debnath D., Vanegas F., Sandino J., Hawary A.F., Gonzalez F. A Review of UAV Path-Planning Algorithms and Obstacle Avoidance Methods for Remote Sensing Applications // Remote Sensing. - 2024. - V. 16. - No. 21. - Article 4019.
5. Рыбак Л.А., Малышев Д.И., Дьяконов Д.А., Мамченкова А.А. Генетический алгоритм планирования траектории движения группы мобильных роботов при наличии стационарных и подвижных препятствий // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2025. - № 2 (244). - С. 175–185.
6. Дуюн И.А., Дуюн Т.А., Рыбак Л.А. Моделирование динамики движения группы дронов с применением открытой платформы gumbullet-drones // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2025. - № 5. - С. 137–148.

7. Rybak L.A., Pisarenko A.S., Polyakov V.M. Synthesis of a High-Level Controller for Controlling a Group of UAVS in the Gazebo Simulation Environment // ICIEAM 2025. - 2025. - P. 489–494.

УДК 628.336.3

Волкова В.Н.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОГАЗА И БИОКОМПОСТА

Выполнен сравнительный анализ технологий обращения с осадками сточных вод (ОСВ). Предложены три технологические схемы анаэробного биореактора (UASB/ABR) с септиковой предобработкой для канализационно-очистных сооружений (КОС) производительностью 1 000 м³/сут, агропромышленных объектов и индивидуальных домовладений. Показано, что анаэробное сбраживание обеспечивает сокращение объёма осадка на 60–70%, выход биогаза 2 200–2 500 м³/сут (содержание СН₄ 65–70%) и электрическую мощность 220–250 кВт при эффективности деградации ХПК 82–88% и обеззараживании до 99,9–100%.

Утилизация осадков сточных вод представляет собой одну из наиболее актуальных проблем коммунального хозяйства Российской Федерации. По экспертным оценкам, ежегодный объём образующихся ОСВ превышает 70 млн т, при этом более 80% этого количества размещается на иловых площадках и полигонах, ресурс которых в значительной мере исчерпан [1, 2]. Действующие нормы природоохранного законодательства, включая Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», стимулируют переход к ресурсосберегающим технологиям обращения с отходами водоочистки [3].

Среди доступных технологических решений особое место занимает анаэробное сбраживание в реакторах типа UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) и ABR (Anaerobic Baffled Reactor). Данный метод позволяет одновременно стабилизировать органическое вещество осадка, существенно сократить его объём и извлечь энергоносители — биогаз с содержанием метана до 70% [4, 5]. В отличие от термических методов, анаэробное сбраживание не требует внешних источников теплоносителя и характеризуется относительно

низкими капитальными затратами, что обуславливает его высокий потенциал для широкого внедрения в российских условиях [6, 7].

Цель настоящей работы — провести сравнительный анализ методов утилизации ОСВ, разработать технологические схемы биореакторных установок и рассчитать параметры биогазовой системы для КОС с суточным расходом $Q = 1\,000\text{ м}^3$.

Анаэробное сбраживание является предметом активных научных исследований на протяжении нескольких десятилетий. Фундаментальные принципы процесса описаны в модели ADM1 (Anaerobic Digestion Model No. 1), разработанной в рамках деятельности Международной ассоциации водных ресурсов [4]. Авторы модели систематизировали биохимические стадии — гидролиз, ацидогенез, ацетогенез и метаногенез — и предложили математический аппарат для прогнозирования выхода биогаза в зависимости от состава субстрата.

В работе Appels et al. [5] обобщены принципы и перспективы анаэробного сбраживания активного ила, показано, что переработка субстрата (термическая, ультразвуковая, химическая) позволяет увеличить биодоступность органики и повысить выход биогаза на 20–30%. Сравнительный обзор Kelessidis and Stasinakis [1] охватывает практику обращения с ОСВ в 17 европейских странах и подтверждает, что анаэробное сбраживание является доминирующей технологией переработки осадка на крупных очистных сооружениях. Отечественные исследования [2] подчёркивают разнородность состава российских ОСВ и необходимость адаптации зарубежных технологических регламентов к местным условиям.

Термохимические методы переработки (пиролиз, газификация, сжигание) рассмотрены в обзоре Wang et al. [6]. Установлено, что, несмотря на высокую степень деструкции органики (70–97%), данные технологии требуют существенных капитальных вложений и сложной системы газоочистки, что ограничивает их применимость в условиях небольших населённых пунктов. По заключению Collivignarelli et al. [7], оптимальной с экономической и экологической точек зрения стратегией для малых и средних КОС остаётся именно анаэробное сбраживание в сочетании с последующим агрономическим использованием дигестата. Анализ данных, свидетельствует о том, что по совокупности технико-экономических и экологических критериев анаэробное сбраживание занимает лидирующее положение. Термические методы обеспечивают наибольшее сокращение объёма осадка (85–97%), однако их капиталоемкость в 4–10 раз превышает затраты на биогазовые установки, а их внедрение целесообразно лишь в крупных городских агломерациях [6, 8–13].

Особую значимость для проектирования установок в климатических условиях Приморского края приобретают исследования Surendra et al. [10] и Poirier et al. [11], посвящённые стабильности метаногенеза при экстремальных концентрациях аммиака и низких температурах. Авторы демонстрируют возможность поддержания мезофильного режима (35°C) при зимних температурах до –25°C при использовании теплообменников и теплоизоляции реакторного корпуса.

Компостирование и щелочная стабилизация отличаются простотой реализации, но не производят энергетических продуктов и уступают по степени обеззараживания [14].

Разработанная технологическая схема для крупных КОС включает следующие ключевые блоки: накопительная ёмкость-септик ($V = 15\text{--}30 \text{ м}^3$) для первичного сбраживания и снижения нагрузки по ХПК на 40–60%; реактор UASB/ABR с активным иловым одеялом; газгольдер и когенерационную установку для выработки электрической и тепловой энергии; узел механического обезвоживания дигестата с получением биокомпоста [8, 9].

Для агропромышленных объектов предусмотрены CSTR-реакторы объёмом 5–50 м³, для частного сектора — компактные ABR-реакторы объёмом 1–5 м³. В обоих случаях конструктивно обеспечен теплоизоляционный кожух и рекуперация тепла уходящего биогаза, что позволяет поддерживать мезофильный режим (35°C) в климатических условиях Приморского края при зимних температурах до –25°C [10, 11].

В таблицах 1-2 представлены трансформация химического состава ОСВ в процессе анаэробного сбраживания и расчёт выхода биогаза по модели ADM1.

Таблица 1. Изменение химического состава ОСВ в процессе анаэробного сбраживания

Показатель	Ед.	До сбраживания	После сбраживания	Степень снижения
Органика (ВВ)	% СВ	65–75	38–48	35–45%
ХПК	мг/л	8 000–15 000	1 200–2 500	82–88%
БПК ₅	мг/л	3 000–6 000	200–450	90–93%
Азот общий (N)	мг/кг СВ	25 000–45 000	30 000–52 000*	концентрирование
Фосфор общий (P)	мг/кг СВ	12 000–25 000	15 000–30 000*	концентрирование

рН	ед.	6,5–7,2	7,0–7,8	нейтрализация
Цинк (Zn)	мг/кг СВ	500–1 500	450–1 350	10–15%
Колиформные бактерии	КОЕ/г	108–1010	104–106	99,9–99,9%
Яйца гельминтов	шт/кг	100–500	< 1	99,8–100%
Объём осадка	усл. %	100%	30–40%	60–70%

При сбраживании биогенные элементы (N, P, K) концентрируются в дигестате, повышая его агрохимическую ценность. Тяжёлые металлы частично иммобилизуются в сульфидной форме в анаэробных условиях. Патогенная микрофлора и инвазионные организмы подавляются до санитарно безопасного уровня [9, 12].

Таблица 2 — Расчёт выхода биогаза по модели ADM1

Параметр	Значение	Примечание
Расход сточных вод Q	1 000 м ³ /сут	Проектный расход
Концентрация ХПК на входе	10 000 мг/л	Смешанные бытовые СВ
Нагрузка по ХПК	10 000 кг/сут	$Q \times C = 1\,000 \times 10$
Эффективность удаления ХПК (UASB)	85%	Мезофильный режим
Удалённое ХПК	8 500 кг/сут	$10\,000 \times 0,85$
Коэффициент конверсии ХПК → биогаз	0,35 м ³ /кг ХПК	Стандарт ADM1
Теоретический выход биогаза	2 975 м ³ /сут	$8\,500 \times 0,35$
Практический выход	2 200–2 500 м ³ /сут	С учётом технологических потерь
Содержание CH ₄ в биогазе	65–70%	Смешанный ОСВ
Электрическая мощность (КПД 40%)	220–250 кВт	Когенерационный режим
Выработка электроэнергии в год	1 900–2 200 МВт·ч	30–50% потребностей КОС

Практический выход биогаза в диапазоне 2 200–2 500 м³/сут обеспечивает электрическую мощность 220–250 кВт, способную покрыть 30–50% суммарного электропотребления КОС. Расчётная экономия при тарифе 6 руб./кВт·ч составит 8–13 млн руб./год, срок простой окупаемости установки — 7–12 лет в зависимости от объёма инвестиций [12, 13].

Анаэробное сбраживание в реакторах UASB/ABR представляет собой оптимальную технологию переработки ОСВ в российских условиях. Разработанные технологические схемы обеспечивают: сокращение объёма осадка на 60–70%; деградацию ХПК на 82–88%; обеззараживание патогенной микрофлоры на 99,9–100%; выход биогаза 2 200–2 500 м³/сут с содержанием СН₄ 65–70% при Q = 1 000 м³/сут. Включение септиковой ступени предобработки снижает нагрузку на реактор по ХПК на 40–60%. Предложенные схемы охватывают диапазон от крупных КОС до индивидуальных домовладений и адаптированы к климатическим условиям Приморского края посредством использования теплоизоляции реакторного корпуса и рекуперации тепла биогаза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kelessidis, A. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries / A. Kelessidis, A. S. Stasinakis // *Waste Management*. 2012. Vol. 32, No. 6. P. 1186–1195.
2. Дмитриева, Т. В. Виды осадков и современные способы очистки воды / Т. В. Дмитриева // *Вектор ГеоНаук*. 2018. Т. 1, № 4. С. 42–47.
3. Об охране окружающей среды : Федеральный закон № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. (ред. 2024). — Москва, 2002.
4. Batstone, D. J. Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1) / D. J. Batstone [et al.] // *Water Science and Technology*. 2002. Vol. 45, No. 10. P. 65–73.
5. Appels, L. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge / L. Appels [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. — 2008. Vol. 34, No. 6. P. 755–781.
6. Wang, L. Thermochemical conversion of sewage sludge: a critical review / L. Wang [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. 2021. Vol. 410. Art. 128312.
7. Collivignarelli, M. C. What advanced treatments can be used to minimize the production of sewage sludge? / M. C. Collivignarelli [et al.] // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, No. 13. Art. 2650.

8. Tchobanoglous, G. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery / G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. — 5th ed. — New York : McGraw-Hill, 2014. 2048 p.

9. Mata-Alvarez, J. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013 / J. Mata-Alvarez [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 36. P. 412–427.

10. Surendra, K. C. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: current status and future potential / K. C. Surendra [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 31. P. 846–859.

11. Poirier, S. Anaerobic digestion of biowaste under extreme ammonia concentration: identification of key microbial phylotypes / S. Poirier [et al.] // Bioresource Technology. 2016. Vol. 207. P. 92–101.

12. Миллер, Б. Г. Технико-экономическое обоснование биогазовых установок для канализационно-очистных сооружений / Б. Г. Миллер [и др.] // Промышленная энергетика. 2020. № 11. С. 34–41.

13. Таскин, А. В. Биоконверсия сточных вод и осадков очистных сооружений / А. В. Таскин, В. Н. Волкова [и др.] // Сборник докладов II Международной научно-технической конференции. Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2025. С. 160–167.

14. Bernstad, A. Separate collection of household food waste for anaerobic degradation — comparison of different techniques from a systems perspective / A. Bernstad, J. La Cour Jansen // Resources, Conservation and Recycling. 2012. Vol. 65. P. 9–17.

УДК 005:658:004.8

Галкина Э.Е.

Научный руководитель: Галкина С.М., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Процесс разработки управленческих решений представляет собой сложную когнитивно-организационную деятельность, возникающую в условиях проблемной ситуации, характеризующейся несоответствием между текущим и желаемым состоянием системы. Существенным предварительным условием начала данного процесса выступает выявление причин возникновения проблемы, поскольку принятие решений в условиях неидентифицированных факторов приводит к

росту неопределенности и снижению эффективности управленческого воздействия. Таким образом, процесс принятия решений не может рассматриваться изолированно от аналитической стадии, связанной с интерпретацией исходной ситуации.

В научной литературе разработано значительное число моделей, формализующих структуру и динамику процесса принятия решений. Эти модели позволяют не только описывать реально наблюдаемые управленческие практики, но и формировать нормативные ориентиры для их совершенствования. В зависимости от исследовательской установки различают дескриптивный и нормативный подходы. Первый направлен на реконструкцию фактического поведения субъектов управления, фиксируя как рациональные, так и иррациональные элементы их деятельности. Он используется преимущественно в диагностических и прогностических целях, позволяя выявлять институциональные ограничения и закономерности функционирования организаций. Нормативный подход, напротив, ориентирован на формирование идеализированных схем принятия решений, задающих стандарты рационального поведения и выступающих в качестве методологических ориентиров для управленческой практики [1].

Концептуализация процесса разработки решений получила дальнейшее развитие в рамках двух парадигм – мануфактурной и творческой, каждая из которых отражает определённое понимание природы управленческой деятельности. Мануфактурная парадигма исходит из предположения о возможности рациональной организации процесса принятия решений по аналогии с производственным процессом. В этом контексте решение рассматривается как результат последовательной обработки информации, поддающейся формализации, декомпозиции и стандартизации. Рациональность связывается с логической непротиворечивостью, полнотой анализа и возможностью количественной оценки альтернатив. Такая трактовка предполагает разделение процесса на отдельные этапы, их параллельное выполнение и последующую интеграцию результатов, что создает предпосылки для автоматизации и использования вычислительных методов.

В противоположность этому, творческая парадигма акцентирует внимание на субъективно-деятельностной стороне процесса принятия решений. Здесь решение интерпретируется как результат творческого акта, в котором значительную роль играют интуиция, опыт и индивидуальные особенности субъекта. Рациональность в данном случае определяется не только эффективностью результата, но и степенью вовлеченности лица, принимающего решение, а также его

способностью к генерации новых подходов. Процесс приобретает самостоятельную ценность, выходящую за рамки инструментальной функции, поскольку способствует развитию когнитивного потенциала субъекта управления. Вместе с тем чрезмерная ориентация на новизну и вариативность может приводить к росту транзакционных издержек и снижению устойчивости управленческих практик.

Несмотря на противопоставление указанных парадигм, в реальной управленческой деятельности они сосуществуют и взаимодополняют друг друга. Рационализация процессов неизбежно сочетается с элементами творчества, а творческая деятельность опирается на определенные структурные ограничения. Это взаимодействие выступает важным фактором эволюции теории и практики управления.

Классическим примером нормативного подхода является рациональная модель принятия решений, базирующаяся на предпосылке полной информированности и логической последовательности действий субъекта. В рамках данной модели процесс включает выявление проблемы, её формализацию, разработку альтернатив и выбор оптимального варианта. Предполагается, что лицо, принимающее решение, способно осуществить исчерпывающий анализ всех возможных вариантов и выбрать тот, который максимизирует заданную целевую функцию. Существенной особенностью модели является её циклический характер: при недостаточности информации или неудовлетворительности результатов возможен возврат к предыдущим этапам и уточнение параметров задачи [3].

Однако эмпирические исследования показывают, что условия полной рациональности практически недостижимы. Ограниченность когнитивных ресурсов, дефицит времени и информации, а также организационные и политические факторы существенно сужают возможности оптимизационного поведения. В этой связи получила развитие концепция ограниченной рациональности, согласно которой субъекты управления ориентируются не на оптимальные, а на удовлетворительные решения. Данный подход предполагает упрощение процедуры поиска альтернатив, отказ от требования их полной совокупности и использование эвристических методов.

Модель, предложенная Г. Саймоном, структурирует процесс принятия решений на стадии выявления проблемы, разработки возможных вариантов и выбора конкретного действия. Принципиальное отличие от рациональной модели заключается в отказе от критерия оптимальности: выбор осуществляется среди ограниченного множества альтернатив на основе приемлемости, а не максимизации. Это позволяет существенно снизить издержки на

обработку информации и ускорить процесс принятия решений, что особенно важно в динамичной организационной среде.

Дальнейшее развитие дескриптивных моделей привело к формированию представлений о высокой степени случайности и контекстуальной обусловленности управленческих решений. В частности, концепция, известная как «модель мусорного бака», трактует процесс принятия решений как результат пересечения потоков проблем, решений, участников и возможностей выбора. В такой системе решения не всегда являются следствием целенаправленного анализа, а могут возникать в результате случайных сочетаний факторов [2].

Альтернативные модели подчеркивают роль предварительных предпочтений и постфактум рационализации выбора. В рамках этих подходов предполагается, что субъект нередко интуитивно склоняется к определенному варианту, после чего формирует критерии оценки, подтверждающие уже сделанный выбор. Это свидетельствует о значительном влиянии когнитивных и психологических механизмов на управленческое поведение.

Отдельного внимания заслуживает организационный контекст принятия решений. Управленческая деятельность осуществляется не изолированно, а в системе взаимодействия с подчинёнными и другими заинтересованными субъектами. Их участие может существенно влиять как на содержание решения, так и на степень его реализации. Включение сотрудников в процесс разработки решений способствует повышению их легитимности и эффективности, особенно в условиях, требующих инициативы и творческого вклада.

Таким образом, современные модели процесса разработки управленческих решений отражают сложное переплетение рациональных, ограниченно рациональных и поведенческих факторов. Их анализ позволяет глубже понять механизмы функционирования организаций и определить направления совершенствования управленческой практики в условиях возрастающей неопределенности и усложнения социально-экономических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бережная Е. В., Бережной В. И. Методы и модели принятия управленческих решений: учебное пособие / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. // – М. : ИНФРА-М, 2022. – 384 с.
2. Фатхутдинов Р. А. Управленческие решения: учебник / Р. А. Фатхутдинов. // – М. : ИНФРА-М Издательский Дом, 2024. – 344 с.

3. Кенина Диана Сергеевна, Левушкина Светлана Владимировна, Свистунова Инна Георгиевна Разработка и принятие управленческих решений в управлении изменениями (обзор литературы) // Сибирский журнал экономических и бизнес-исследований. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 02.04.2026).

4. Лещев С.И. Основы моделирования управленческих задач: Учебное пособие/ Сост.: Лещев С.И. г. Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. - 156 с.

5. Научные статьи. ru. Электронный ресурс: URL: <https://bank.nauchniestati.ru> (дата обращения: 17.04.2026).

УДК 621.22

Гапич А.А., Быценко М.В., Резанов Д.С.

Научный руководитель: Орехова Т.Н., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО КАТКА ДУ-96

В современном дорожном строительстве вибрационные катки играют ключевую роль при уплотнении грунтовых оснований, дорожных одежд и асфальтобетонных покрытий [1]. Качество уплотнения напрямую определяет несущую способность и долговечность возводимых автомобильных дорог. Среди многообразия моделей особую практическую значимость сохраняет каток ДУ-96 – двухосный двухвальцовый вибрационный каток, зарекомендовавший себя как надежная и технологичная машина.

Эффективность эксплуатации катка напрямую зависит от исправности и оптимальной работы его гидравлической системы, которая обеспечивает привод хода, виброуплотнение и рулевое управление.

Каток ДУ-96 предназначен для уплотнения покрытий из асфальтобетонных смесей, грунтовых оснований и щебеночных слоев на автомобильных дорогах IV–V категорий, городских улицах, а также при строительстве аэродромов и объектов промышленного назначения.

Основные технические характеристики дорожного катка представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики катка ДУ-96

Показатель	Значение
Масса эксплуатационная, т	7,2
Тип катка	Вибрационный двухосный двухвальцовый
Ширина вальца, мм	1500
Скорость движения, км/ч	5,5 / 10,5
Частота вращения вибровозбудителя, об/мин	2400 / 3000
Вынуждающая сила вибровозбудителя, кН	57 / 44
Двигатель	DEUTZ F 4L2011, 47,8 кВт

Каток представляет собой самоходную машину, состоящую из двух сварных рам, соединенных шарниром сочленения (рис. 1). Такая схема обеспечивает высокую маневренность и возможность работы вблизи бордюров [2].

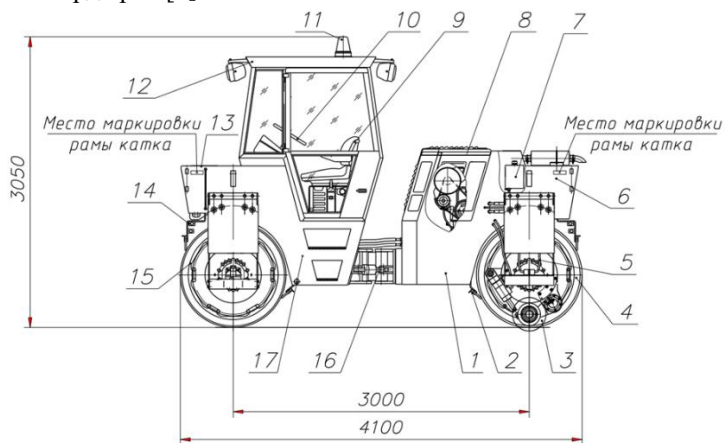


Рис. 1. Общий вид катка ДУ-96: 1 – рама задняя; 2, 14 – скребки; 3 – механизм обработки кромки асфальта; 4, 15 – валец вибрационный; 5 – гидросистема; 6, 13 – бак смазывающей жид-кости; 7 – бак гидросистемы; 8 – силовая установка; 9 – рабочее место; 10 – рулевое управление; 11 – электрооборудование; 12 – кабина; 16 – шарнир сочленения; 17 – рама передняя

Принцип действия катка основан на комбинированном воздействии статической массы и динамических вибраций. При запуске

двигателя крутящий момент передается на насосы, которые формируют потоки рабочей жидкости. Гидрообъемная трансмиссия обеспечивает плавное бесступенчатое регулирование скорости и реверс хода. Одновременно включается привод вибровозбудителя, создающий колебания с заданной частотой и амплитудой. Вибрационные волны уплотняют материал, вытесняя воздух и повышая взаимное сцепление частиц [3].

Гидравлическая система катка ДУ-96 (рис. 2) включает пять независимых контуров [4]:

- гидропривод хода катка;
- гидропривод вибратора;
- гидропривод рулевого управления;
- гидропривод механизма смещения рам;
- гидропривод механизма обработки кромки асфальтобетона.

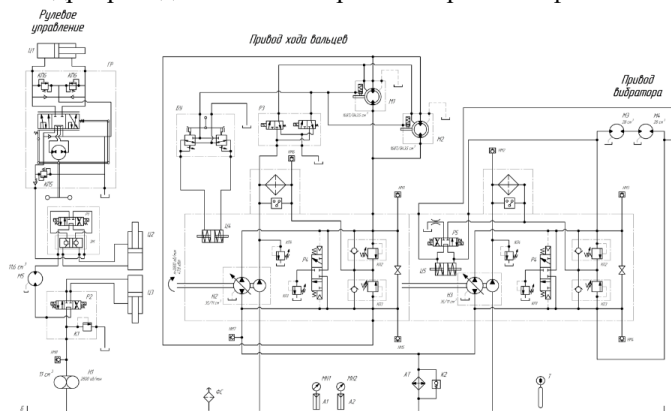


Рис. 2. Принципиальная схема гидропривода ДУ-96

Энергия от дизельного двигателя DEUTZ F 4L2011 передается на насосную станцию, которая преобразует механическую энергию в энергию потока рабочей жидкости. Насосная станция включает двухсекционный аксиально-поршневой насос фирмы «Bondioli & Pavesi» с рабочим объемом 35 см³ и шестеренный насос рулевого управления.

Регулирование скоростей гидродвигателей осуществляется комбинированным способом: изменением частоты вращения вала насоса и дросселированием рабочей жидкости в каналах гидрораспределителей. Такой подход обеспечивает гибкость управления и позволяет адаптировать работу машины к различным технологическим операциям [5].

В состав гидравлической системы входят следующие основные элементы:

1. Гидромоторы. Для привода хода применяются регулируемые гидромоторы Poclain MSE11 с рабочим объемом 1687/843,5 см³. Привод вибратора осуществляется гидромоторами с рабочим объемом 28 см³. Рулевое управление обеспечивает гидромотор с рабочим объемом 11,6 см³.

2. Гидрораспределители. Система включает три основных распределителя: секционный гидрораспределитель привода хода (P=16 МПа), гидрораспределитель привода вибратора (P=16 МПа) и гидрораспределитель рулевого управления и смещения (P=16 МПа).

3. Предохранительные и регулирующие клапаны обеспечивают защиту системы от перегрузок и поддержание необходимого давления в контурах.

4. Гидроцилиндры Ц1, Ц2 (поворот и смещения рам) и Ц3 (механизм обработки кромки) с условным проходом Ду=16 мм.

5. Вспомогательное оборудование: гидравлический бак объемом 100 л, фильтр очистки, радиатор охлаждения, гидрозамки, манометры.

В ходе исследования проведен детальный анализ гидравлической системы дорожного катка ДУ-96. Установлено, что применение гидрообъемного привода обеспечивает плавное бесступенчатое регулирование скорости движения и реверс хода, а также высокую надежность работы машины в различных эксплуатационных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ и перспективы направлений совершенствования малогабаритных одновальных вибрационных катков / М. Д. Герасимов, Н. С. Любимый, С. С. Латышев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 5. – С. 92-108.

2. Каток вибрационный двухосный двухвальцовый ДУ-96: руководство по эксплуатации ДУ-96.000.000 РЭ2 / ОАО «РАСКАТ». – Рыбинск, 2018. – 122 с.

3. Физическая модель двухступенчатой вибрационной установки для генерирования асимметричных колебаний / В. Г. Рязанцев, М. Д. Герасимов, Н. С. Любимый [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 10. – С. 107-114.

4. Нилов, В. А. К расчету параметров управляемого вальца трехвальцового дорожного катка / В. А. Нилов, В. А. Жулай, А. Е.

Горбачев // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 2. – с. 69-73.

5. Орехова, Т. Н. Анализ методики расчета напор и подача гидравлического двигателя-насоса / Т. Н. Орехова, М. С. Бабкин // Уральский научный вестник. – 2018. – Т. 1, № 2-1. – С. 016-019.

УДК 004:316

Губарева А.В.

Научный руководитель: Бугаева Е.С., ст. преп.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

ЦИФРОВАЯ СОЦИАЛИЗАЦИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К МОДУЛЮ «ПОРТФОЛИО»

Внедрение автоматизированных информационных систем в деятельность высших учебных заведений сопровождается ростом удельного веса модуля «Портфолио обучающегося». Традиционно в рамках информатики данный модуль интерпретируется как специализированное хранилище данных, фиксирующее результаты учебной, научной и общественной деятельности студента. Однако при обращении к социологическому подходу обнаруживается, что этот технический инструмент одновременно выполняет функцию агента цифровой социализации, формируя у пользователя определённые паттерны самооценки и поведения [4, 8]. В практике подготовки выпускных квалификационных работ, посвящённых совершенствованию подобных модулей, основной акцент, как правило, делается на интерфейсных и алгоритмических решениях. Социальные эффекты внедрения и эксплуатации системы при этом часто остаются за рамками анализа. Цель настоящей статьи — продемонстрировать, что модернизация информационной системы «Портфолио» не может быть сведена к чисто техническим задачам, а требует предварительного социологического изучения пользовательских запросов и может интерпретироваться как инструмент управления цифровой идентичностью [9].

Актуальность поднимаемой проблемы задаётся двумя обстоятельствами. С одной стороны, действуют нормативные требования к учёту индивидуальных достижений, зафиксированные, в частности, в Приказе Минобрнауки РФ № 203 от 22.02.2023 г. [3]. С другой стороны, накапливаются эмпирические данные,

свидетельствующие о формировании феномена инструментальной мотивации: деятельность студента ориентируется не на рефлексию собственного развития, а на получение формального балла [6]. Исследования последних лет показывают, что студенческая аудитория переживает состояние кризиса цифровой идентичности. Разрыв между реально приобретёнными компетенциями и их цифровой репрезентацией в учётной системе достигает порой критических значений, провоцируя отчуждение от образовательного процесса [1, 8].

С позиций социологии образования электронное портфолио призвано реализовывать как минимум три группы функций. Первая — фискальная, связанная с учётом формальных показателей для назначения стипендий и прохождения аттестаций. Вторая — коммуникативная, обеспечивающая трансляцию достижений внешним стейкхолдерам (потенциальным работодателям, научным сообществам). Третья — рефлексивная, направленная на помощь студенту в осмыслении собственной образовательной траектории. Результаты предпроектного опроса, проведённого автором (N=120, студенты 2–4 курсов), выявляют существенное расхождение между ожидаемыми и реальными практиками использования портфолио. Более 75% респондентов воспринимают существующие версии модуля исключительно как принудительную отчётную форму, не возвращаясь к просмотру заполненных данных после завершения сессионного периода. При этом 68% опрошенных указали на потребность в возможности добавления свободного текстового комментария к каждому достижению («что мне это дало»), а 54% — в наличии визуализации прогресса в динамических графиках. Полученные данные вступают в противоречие с классической архитектурой типовых модулей, построенной по принципу последовательного заполнения формализованных полей с последующим расчётом баллов. Такая архитектура, как отмечается в литературе, реализует почти исключительно фискальную функцию, игнорируя теорию самопрезентации Э. Гоффмана и концепцию «горизонтальной легитимности» (значимость оценки со стороны равных, а не только администрации) [8].

Для разрешения описанного противоречия при совершенствовании модуля информационной системы «Портфолио» представляется необходимым внедрение ряда функциональных изменений, базирующихся на социологических выводах. Первое изменение касается добавления блока рефлексивных меток. Наряду с формальными полями («дата», «тип мероприятия», «балл») целесообразно предусмотреть обязательное поле «субъективная

значимость» в виде шкалы Лайкерта (5 градаций) и поле свободного текста ограниченного объёма (не более 300 символов) для фиксации личного смысла события. Данное техническое решение, предполагающее добавление двух полей в базу данных и соответствующих элементов управления в интерфейс, переводит систему из режима реестра в режим дневника развития, тем самым реализуя рефлексивную функцию портфолио.

Второе направление связано с внедрением геймифицированной визуализации идентичности. Вместо линейного хронологического списка достижений предлагается формировать интерактивное «облако компетенций». Под этим термином понимается совокупность тегов навыков с динамическими весами, рассчитываемыми на основе частоты и типа мероприятий, внесённых пользователем. Техническая реализация возможна средствами стандартных JavaScript-библиотек (например, D3.js) и не требует перестройки ядра системы. Социальный эффект от такого решения, однако, является значительным: студент начинает идентифицировать себя не с абстрактной суммой баллов, а с конкретным набором тегов («исследователь», «организатор», «волонтёр» и т.п.).

Третье изменение предполагает введение модуля взаимооценки (peer-review). Студент, по собственному желанию, может разрешить однокурсникам или преподавателям комментировать отдельные записи его портфолио, а также ставить отметки «лайк». Речь идёт о простейшем социальном графе с минимальной нагрузкой на серверную часть. Данная функция снижает монополию административной оценки, способствует формированию горизонтальных связей признания и прямо корреспондирует с задачами социализации. Наконец, четвёртое изменение связано с реализацией экспорта в формате «цифрового следа» (JSON или PDF с QR-кодом). Портфолио должно обеспечивать генерацию не только внутривузовской справки для деканата, но и презентационного профиля для внешних стейкхолдеров. Тем самым система трансформируется из внутреннего учётного инструмента в капитал идентичности (в терминологии П. Бурдьё).

Таким образом, при разработке темы, связанной с совершенствованием модуля информационной системы «Портфолио», в техническое задание следует закладывать не только требования к производительности, надёжности и отказоустойчивости, но и перечисленные выше социологические спецификации. В противном случае существует высокий риск воспроизводства феномена, описанного С.Г. Чухиным как «симулякр достижения» — имитация академической активности ради формальной отчётности [6]. Синтез

социологического и информационно-технического подходов позволяет переопределить функциональное назначение электронного портфолио: это не просто база данных, а среда субъектной цифровой социализации, управляемая самим обучающимся. Предложенные изменения (включение рефлексивных полей, визуализация компетенций в виде облака тегов, модуль самооценки, экспорт профиля) не требуют революционной перестройки архитектуры. Они находятся на уровне интерфейсной и логической доработки существующих модулей. Однако именно эти, на первый взгляд второстепенные с точки зрения «чистой информатики» опции, определяют социальную эффективность системы. Их игнорирование консервирует формальное отношение к портфолио, тогда как реализация позволяет превратить рутинную отчётность в инструмент построения цифровой идентичности и снижения отчуждения студента от учебного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефлова, М. Ю. Социализация молодежи в цифровую эпоху: агенты, факторы, противоречия / М. Ю. Ефлова, М. Д. Щелкунов, Е. М. Николаева [и др.]. – Казань: Издательство Казанского университета, 2025. – 302 с.
2. Личный кабинет студента НИУ «БелГУ» / Студентам // Официальный сайт НИУ «БелГУ». – URL: <https://www.bsu.edu.ru> (дата обращения: 28.04.2026).
3. Приказ Минобрнауки РФ от 22.02.2023 № 203 «О внесении изменения в Порядок заполнения, учета и выдачи документов о высшем образовании...». – М., 2023.
4. Мурадян, О. А. Цифровое образование и проблемы идентичности в контексте цифровой этики / О. А. Мурадян // Вестник КРСУ. – 2024. – Т. 24, № 2. – С. 51-56.
5. Описание автоматизированных систем НИУ «БелГУ» / Ресурсы // Официальный сайт НИУ «БелГУ». – URL: <https://bsuedu.ru/bzu/resource/is/> (дата обращения: 28.04.2026).
6. Чухин, С. Г. Социокультурный контекст формирования гражданской идентичности обучающихся и влияние цифровизации / С. Г. Чухин, Л. А. Максименко // Вестник ТГПУ. – 2025. – № 5. – С. 7-18.
7. Цифровая кафедра: дополнительный бонус в портфолио выпускника НИУ «БелГУ»: видеоинтервью / Rutube-канал БелГУ. – 2024. – URL: <https://rutube.ru> (дата обращения: 28.04.2026).
8. Рябов, Н. А. Социализация студентов вуза: современные конструкты / Н. А. Рябов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2025. – № 4.

9. Храпов, С. А. Цифровая идентичность и гуманистическая модель цифровой образовательной среды / С. А. Храпов, С. Е. Крючкова, И. М. Меликов // Вопросы философии. – 2024. – № 7. – С. 29-39.

УДК 67.03

*Гуденко О.В., Пономарёв Д.В., Несмеянов Н.П.
Научный руководитель: Матусов М.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЕТНОСМЕСИТЕЛЯ

В настоящее время приобретает популярность использование современных конструкционных материалов и сплавов. Благодаря своим свойствам становится возможным решать разнообразные задачи. Такие материалы для лопастей бетоносмесителей направлены на решение двух ключевых задач: максимальное продление срока службы деталей (особенно в условиях абразивного износа) и повышение качества самого бетона через улучшение однородности смеси [1, 4].

В связи с этим выделилось два основных направления в материалах — полимеры и высокопрочные сплавы, каждое из которых имеет свою стратегию применения.

Полиуретан (рис.1, а) стал одним из самых заметных нововведений. Его главное преимущество — низкий коэффициент сцепления, что кардинально решает проблему налипания бетонной массы на лопасти. Кроме того, его плотность примерно в три раза ниже, чем у стали, что позволяет облегчить конструкцию.

При выборе между двумя типами лопастей — цельнополиуретановыми и комбинированными — важно понимать их специфику:

- цельнополиуретановые лопасти (рис. 1, а) обеспечивают минимальное налипание смеси и защищают броню смесителя от износа (т.к. полиуретан — более мягкий материал). Наиболее часто такие лопасти применяют в производстве различных бетонных смесей, не содержащих крупный заполнитель, который может повредить их.

- лопасти комбинированного типа (рис. 1, б) (комбинация металла и полиуретана): они сочетают в себе жесткость и прочностные свойства стали и износостойкость, малую адгезию рабочей поверхности

полиуретанового покрытия. Такая комбинация свойств может быть хорошим решением при работе лопастей в нагруженных условиях

Смеси содержащие большое количество крупного заполнителя предпочтительней смешивать лопастями из твердых сплавов. Например, лопасти, выполненные из высокохромистого чугуна ЧХ16 обладают повышенным до 50 % ресурсом по сравнению со стальными лопастями. Такие марки чугуна разработаны специально для работы в тяжелых абразивных условиях

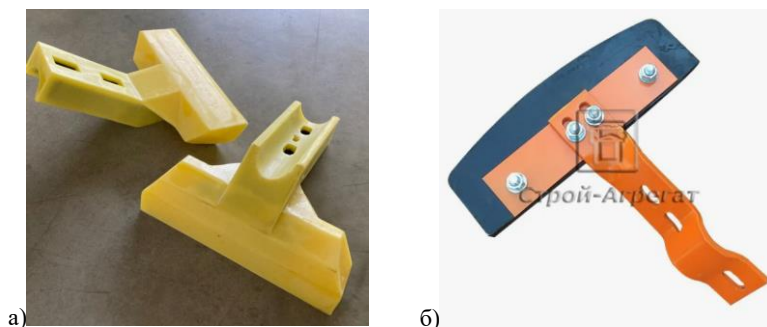


Рис. 1. Виды лопастей:
а) полиуретановые; б) комбинированные

Высокомарганцовистые стали являются весьма износостойкими и часто используются при производстве смесительных лопастей. Наиболее часто для таких целей применяют стали марок Hardox500 и 65г обеспечивают большую устойчивость к абразивным условиям работы лопастей и ударным нагрузкам [3, 5].

Еще одним перспективным направлением в изготовлении лопастей является их облицовка керамикой (рис. 2, а) и твердыми сплавами (рис. 2, б). Эта технология предполагает, что сама лопасть может быть изготовлена из конструкционной стали, а ее наиболее изнашиваемые рабочие зоны защищены более твердым материалом [2].

Наряду с материалами активно развиваются и конструкторские решения, которые можно отнести к «инновационному дизайну»:

Параллелограммные лопасти - лопасти сконструированы так, что при износе одной стороны их можно повернуть на 180°. Это позволяет использовать обе стороны и, по заверению производителей, увеличивает общий срок службы лопасти вдвое.

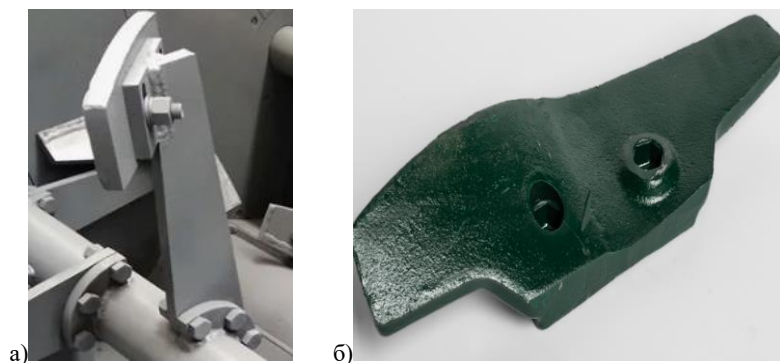


Рис. 2. Керамическая (а) и твердосплавная (б) лопасти

Выбор между этими технологиями – это всегда баланс между требованиями к долговечности оборудования, типом используемых смесей и общим бюджетом на обслуживание. Несмотря на более высокую стоимость материалов и затрат на изготовление, применение этих технологий позволяет интенсифицировать процесс смешивания в бетоносмесительном оборудовании и повысить долговечность изделий из бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2018.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2019.
3. Каталоги оборудования фирм BHS-Sonthofen, Sicoma, Liebherr (технические описания).
4. 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. 115-117.
5. 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.

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ОТКАЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В данной статье были рассмотрены методы оценки допустимого отказа строительных конструкций как способа обеспечения надежности. Анализ научных работ и нормативно-технической документации позволил выстроить классификацию отказов и понять логику современных методов расчета.

1.1 Теоретические основы классификации отказов

Согласно ГОСТ 27.002-2015, отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Однако применительно к строительным конструкциям данное понятие требует более обширной градации.

В своих трудах В.Д. Райзер утверждал, что отказы в строительстве носят иерархический характер [4]. Анализируя источник [1], отказы можно классифицировать:

1. по причинам возникновения (внутренние, внешние);
2. по скорости их проявления (последовательные, постепенные, внезапные);
3. по диапазону (частичные, полные);
4. по зависимости от последствий (незначительные, значительные);
5. по зависимости от срока эксплуатации (преждевременные, случайные, износные).

1.2 Методологические подходы к оценке допустимого отказа

Анализ доступных источников позволяет выделить два основных методологических подхода расчета несущей способности конструкции: детерминистический (метод предельных состояний) и вероятностный [3], [5].

Действующие своды правил базируются на методе предельных состояний [7]. Данный метод был введен в СССР как руководящий принцип расчёта строительных конструкций. В системе Еврокодов он получил название «метод частных коэффициентов надежности». Смысл метода предельных состояний заключается в гарантировании невозникновения за период эксплуатации состояний первой (потери

несущей способности) или второй (затруднение нормальной эксплуатации) группы [7].

Ключевой формулой подхода является:

$$\sum Q_i * n_i \leq R * m * k,$$

где Q_i - нормативные нагрузки, действующие на конструкции; n_i - коэффициенты надежности; m - коэффициенты условий работы, учитывающий специфику эксплуатации; k - дополнительные коэффициенты (например, коэффициент надежности по назначению здания); R - нормативные пределы прочности или пределы текучести материалов конструкций.

Вместе с тем, несмотря на то, что метод предельных состояний нормативно закреплён, современное развитие теории надежности требует более глубокого анализа вероятностной природы отказа.

1.3 Вероятностная интерпретация предельных состояний

В действительности метод предельных состояний представляет собой простую форму вероятностного расчета [3], [5]. Частные коэффициенты надежности по нагрузке и материалу являются результатом статистической обработки, направленной на обеспечение заданного целевого уровня надежности.

В общем виде условие работоспособности конструкции записывается так:

$$R > S,$$

где R - несущая способность конструкции; S - нагрузочный эффект.

В вероятностной постановке обе величины рассматриваются как случайные [5]. В этом случае вероятность отказа определяется выражением:

$$P_f = P(R \leq S).$$

Если принять нормальное распределение величин R и S , то оценка надежности может быть произведена через индекс надежности β :

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}},$$

где μ - математическое ожидание; σ - среднеквадратичное отклонение.

Связь между индексом надежности и вероятностью отказа выражается через функцию стандартного нормального распределения (функцию Лапласа):

$$P_f = \Phi(-\beta),$$

где $\Phi(-\beta)$ - функция распределения стандартной нормальной случайной величины.

Использование аргумента β в данной формуле обусловлено тем, что отказ соответствует ситуации, в которой нагрузка превышает несущую способность.

Также выражение, указанное выше, можно записать следующим образом:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta).$$

Таким образом, допустимый отказ определяется допустимой вероятностью P_f , либо соответствующим индексом β .

1.4 Диапазоны допустимых вероятностей отказов

В инженерной практике допустимые значения вероятности отказа зависят от категории ответственности сооружения и тяжести возможных последствий. Анализ научных работ и нормативных рекомендаций [3], [5], [7] позволяет выделить следующие диапазоны:

10^{-2} - 10^{-3} - для временных и малозначимых конструкций;

10^{-4} - 10^{-5} - для зданий массового строительства;

10^{-6} - 10^{-7} - для уникальных сооружений.

При этом важно понимать, что достижение нулевой вероятности разрушения в принципе невозможно. Это обусловлено рядом объективных причин:

1. случайным характером как обычных, так и экстремальных нагрузок во времени;

2. статистической неоднородностью прочностных свойств материалов;

3. невозможностью точно задать и спрогнозировать условия эксплуатации;

4. наличием процессов деградации (коррозия, усталость, ползучесть).

Таким образом, задача проектировщика заключается не в полном исключении риска, а в его разумном контроле и управлении.

2. Системная надежность и проблема прогрессирующего разрушения

Системный анализ отказов – это приоритетное значение в современной теории надежности. Конструкция становится иерархически организованной системой, а не совокупностью независимо функционирующих элементов. Она характеризуется наличием внутренних связей и способностью к перераспределению внутренних усилий [3], [5].

В рамках данного подхода выделяют следующие уровни повреждений:

1. Локальный отказ отдельного элемента;

2. Частичную утрату несущей способности системы;

3. Прогрессирующее разрушение.

Локальное повреждение образует цепную реакцию разрушений, а это значит, что прогрессирующее обрушение представляет наибольшую опасность. В этом случае допустимая вероятность первичного отказа должна быть значительно ниже, чем для изолированного элемента.

Статистическая неопределённость, наличие резервирования и пластичность материалов повышают системную надежность. В связи с этим допустимый отказ целесообразно оценивать с учетом всей расчетной схемы конструкции.

3. Обоснование допустимого уровня надежности

Повышение надежности сопровождается увеличением трудозатрат и стоимости строительства. С экономической точки зрения рациональный уровень надежности определяется минимизацией суммарных приведенных затрат [3], [5]:

$$C = C_0(\beta) + P_f(\beta) * L,$$

где C_0 - затраты на обеспечение надежности; P_f - вероятность отказа; L - ущерб при разрушении.

При увеличении индекса β возрастает стоимость конструкции, однако уменьшается ожидаемый ущерб. Оптимальное значение β соответствует минимуму функции $C_0(\beta)$ [5].

Однако стоит отметить, что экономический фактор не является единственным и достаточным. В ряде случаев, особенно при работе с объектами повышенной ответственности, стоит учитывать ограничения, связанные с безопасностью и социальной приемлемости риска.

Риск отказа определяется математическое ожидание ущерба [5]:

$$R = P_f * L,$$

где R - риск (ожидаемые потери), P_f - вероятность отказа, L - ущерб при разрушении.

Также в рамках подхода вводится предельно допустимое значение риска R_{adm} , при котором выполняется условие:

$$P_f * L \leq R_{adm}$$

Отсюда можно определить допустимую вероятность отказа:

$$P_f \leq R_{adm}/L$$

В данном подходе учитывается не только аспект ресурсных затрат, но и аспект безопасности.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Отказ строительной конструкции является вероятностным явлением и обусловлен пересечением случайных процессов нагрузки и сопротивления.

2. Метод предельных состояний представляет собой частную форму вероятностного подхода. Он обеспечивает заданный уровень безотказности при помощи коэффициентов надежности.

3. Допустимый отказ определяется диапазоном вероятностей от 10^{-2} до 10^{-7} в зависимости от уровня ответственности.

4. Системная надежность и возможность разрушения требуют комплексной оценки отказа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отказы несущих и ограждающих конструкций / [Электронный ресурс] // Институт строительной экспертизы, обследования зданий и строительных конструкций «ИСЭ»: [сайт]. – URL: <http://lse.expert.ru>

2. Шеин А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. Некоторые причины отказа строительных конструкций // Интернет журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru>

3. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер — Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007 – 254 с.

4. Райзер, В. Д. Теория надежности сооружений / В. Д. Райзер — Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010 – 384 с.

5. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В. В. Болотин – М.: Стройиздат, 1982 — 351 с.

6. ГОСТ 27.002-2015 "Надежность в технике. Термины и определения" от 28.12.2015 № N 654-ст.

7. ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения" от 01.07.2015 № N 72-П.

8. Абсиметов, В. Э. К определению долговечности и надежности строительных конструкций / В. Э. Абсиметов, Е. В. Салтанова // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 70-75.

Гурьков Э.В., Кравченко Н. Ю.

*Научный руководитель: Амелин П.А. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СПОСОБОВ РАСЧЁТА СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Глобальная цифровизация оказала существенное влияние на строительную отрасль, что особенно проявляется в проектных и производственных процессах. Технологии информационного моделирования зданий и дополнительные специализированные программные комплексы неизбежно ведут к повышению точности результатов работы, а также к снижению трудозатрат, что повышает производительность и способствует развитию экономики не только внутри проектных организаций, но и всей строительной отрасли в целом. Мониторинг и оперативное выявление несоответствий представляют параметры эффективности реализации проектов, оказывающие прямое влияние на финансовую составляющую [1]. Поэтому создание и использование цифровой модели здания при всех его жизненных циклах стало обязательным требованием.

Цифровая трансформация затронула также одно из ключевых направлений отрасли – составление сметной документации [2]. Способ, основанный на ручной обработке, хоть и является на данный момент самым распространённым, но характеризуется высокими трудозатратным и значительной зависимостью от человеческого фактора. При работе с масштабными и сложными строительными объектами, где нужны оперативность и особое внимание к рабочей документации возникает необходимость в динамическом обновлении сметной стоимости объекта, при любых корректировках проектных решений [3].

В данной статье, автоматизированный подход будет рассмотрен на основе использования отечественного плагина АБС-смета. Функционирование данного комплекса реализована посредством интеграции сметных расчетов с цифровой моделью объекта [4]. Данный подход обеспечивает тесную взаимосвязь между проектными и экономическими данными, что позволяет существенно снизить трудозатраты и минимизировать вероятность возникновения ошибок,

оперативное исправление которых можно осуществить в более короткие сроки, в отличие от традиционного способа.

Для подтверждения вышенаписанного, проведен сравнительных анализ на основе исследования традиционного и автоматизированного методов расчета. В нём рассмотрены:

- Время подготовки сметы
- Трудоемкость
- Количество операций
- Вероятность возникновения ошибок
- Гибкость внесения изменений
- Экономическая эффективность
- Требования к квалификации специалиста

Для анализа в программном комплексе Revit было создано 25-этажное здание с первым коммерческим этажом и последующими типовыми жилыми этажами (рис.1). Рассмотрен и проработан только архитектурный раздел, для сокращения сроков апробации. 3-D модель была выполнена в соответствии с требованиями и удовлетворяет LOD 400 (уровень В- проектная модель).

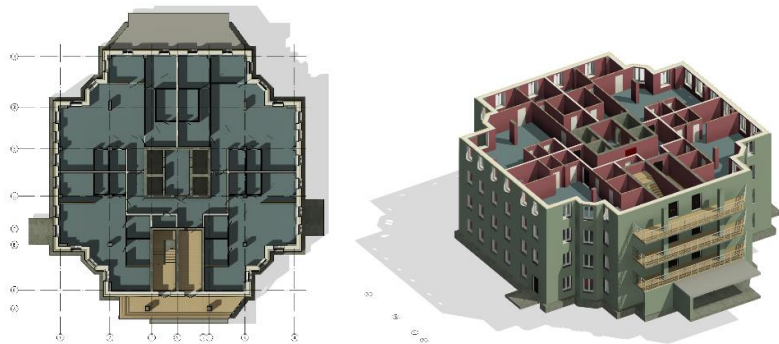


Рис. 1. Схема типового этажа и 3-D модель здания в разрезе

Анализ показал преимущества и недостатки каждого способа и по итогам работы была составлена сравнительная таблица (табл.1). Главным преимуществом автоматизированного способа при создании сметы оказалась возможность скрытия объектов со сметным свойством, что значительно сократило время проверки полного объема внесения данных (рис. 2). При расчете вручную вывод данных осуществлялся по спецификациям, которые в свою очередь были сформированы в Revit.

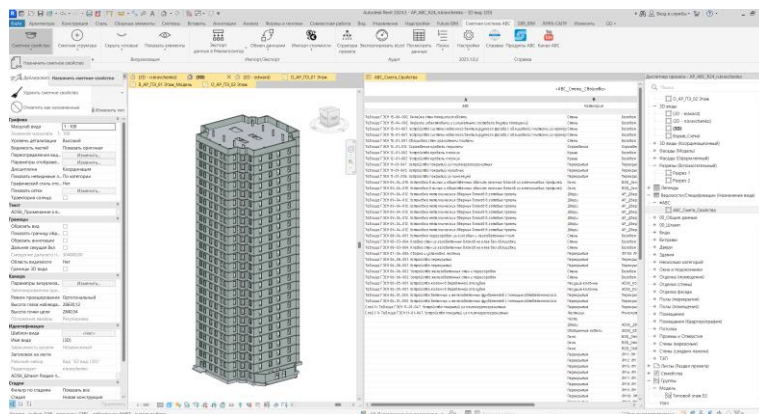


Рис. 2. 3D модель железобетонных элементов здания

Таблица 1. Сравнение автоматизированного и ручного способа внесения объёма данных

Критерий сравнения	Способ внесения объёма данных	
	Ручной	Автоматизированный
Скорость внесения сметного свойства	Низкая	Высокая
Точность определения объёмов	Низкая	Высокая
Вероятность возникновения ошибок	Высокая	Низкая
Гибкость внесения изменений	Низкая	Оптимальная
Прозрачность расчётов	Средняя	Высокая
Зависимость от ПО	Средняя	Высокая
Обновления нормативных баз	Ручное	Автоматизированное

В ходе исследования было выявлено, что точность вывода объёма данных для сметной документации при автоматизированном подходе составляет 90-95%, так как остальные проценты зависят от точности ИМ. Ручной же способ показал точность 70%, что значительно влияет на экономическую составляющую проектов.

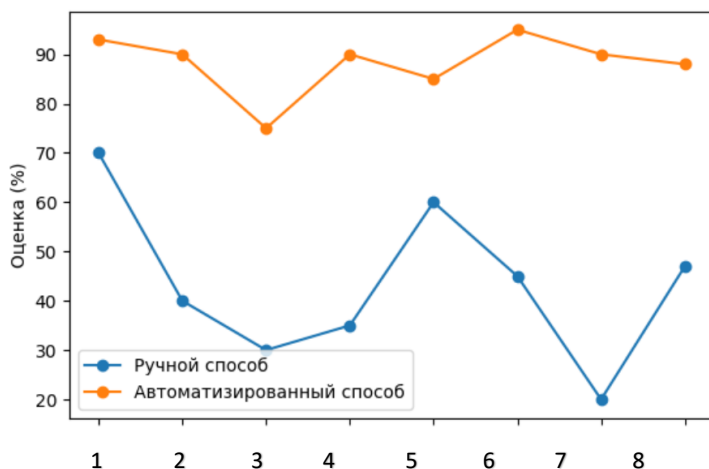


Рис. 3. График эффективности
 1– точность; 2 – скорость; 3 – Трудоемкость; 4 – гибкость изменений;
 5 – прозрачность расчёта 6 – актуальность данных 7 – автоматизация
 процессов 8 – общая эффективность

График наглядно показывает отставание ручного способа вывода данных от автоматизированного. Оптимальный подход вывода данных применим не только для Revit, но и для многих других программ [5]. Также есть возможность обмена данными между другими сметными программами, не имеющими интеграции с ИМ (рис.4)



Рис. 4. Спектр программного обеспечения для BIM. Источник:
<https://abccenter.ru/publication-2021-08-05/>

Стоит отметить, что данный способ составления и расчета сметной документации не коем образом не заменяет специальность сметчика, так как при составлении необходимы понимание и знания. Наоборот, этот плагин позволяет развивать специалистов более широкого профиля.

Практическая апробация показала, что традиционный метод расчёта во многом уступает. Автоматизированный способ оказался более оперативным в формировании сметной документации и устранения ошибок, что повышает точность расчетов и минимизирует влияние человеческого фактора. Автоматизация снижает ошибки, но переносит ответственность на этап моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. Дальченко Е.А., Карпов В.С. Автоматический расчет стоимости сметы // Современные подходы к трансформации концепций государственного регулирования и управления в социально-экономических системах. сборник научных трудов 13-й Международной научно-практической конференции. Курск, 2024. С. 201-203.

3. Дубовик И. Как автоматизировать составление строительных смет // Ростов-на-Дону: Феникс. - 2016. - 288 с.

4. Опыт применения Revit при перепроектировании школы в Хабаровском крае. [Электронный ресурс]. URL:<https://abccenter.ru> (дата обращения: 11.03.2026).

5. Сравнительный анализ функционала API BIM-систем с позиции экономических задач. [Электронный ресурс]. URL: <https://abccenter.ru> (дата обращения: 25.04.2026).

Донченко М.С.

*Научный руководитель: Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКИ

Скользящая опалубка — это метод строительства, при котором бетон заливается в верхнюю часть непрерывно перемещаемой опалубки. По мере заливки бетона опалубка поднимается вертикально со скоростью, которая позволяет бетону затвердеть до того, как он освободится от опалубки в нижней части.

Метод скользящей опалубки используется как для вертикальных, так и для горизонтальных непрерывных конструкций. Этот тип опалубки полностью зависит от технологий автоматического монтажа.

Технология скользящей опалубки использовалась уже в начале XX века для строительства силосов и элеваторов.

Пионером в применении скользящей опалубки для бетонных конструкций стал Джеймс Макдональд из компании MacDonald Engineering (Чикаго).

В 1910 году Макдональд опубликовал работу «Подвижные опалубки для армированных бетонных хранилищ» («Moving Forms for Reinforced Concrete Storage Bins»), где описал использование форм для подвижной опалубки — с применением домкратов и бетона для создания непрерывной конструкции без стыков и швов. В этой работе подробно изложены концепция и процедура создания конструкций из бетона с применением скользящей опалубки.

Первые жилые дома, построенные с применением технологии скользящей опалубки, были возведены в 1950 году в Вестерторпе.

Компоненты конструкции скользящей опалубки (Рис. 1) и их назначения:

1- домкратная рама — несущий элемент, удерживает щиты опалубки, воспринимает давление бетонной смеси;

2- гидравлический домкрат — поднимает опалубку (до 10 т), обеспечивает равномерное движение;

3- домкратный стержень — направляющая, крепится к фундаменту;

4- маслопровод — подаёт жидкость к домкратам для синхронной работы;

5- рабочий настил — деревянная площадка внутри опалубки для рабочих и материалов;

6- щиты опалубки — панели (1,1–1,2 м) из стали, алюминия или фанеры, формируют поверхность бетона;

7- подвесные наружные подмости — конструкции на раме для внешних работ, подвешиваются на тросах;

8- светильник — обеспечивает освещение рабочей зоны;

9- наружный рабочий настил — площадка снаружи опалубки для монтажных работ и безопасности персонала.

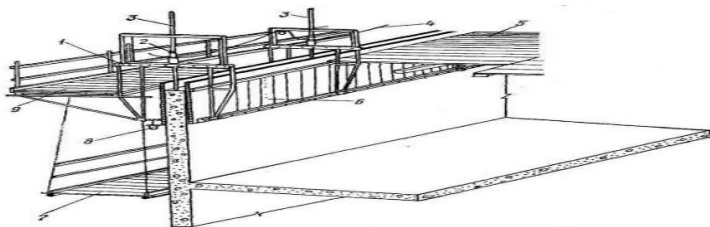


Рис. 1-Компоненты конструкции скользящей опалубки

Вертикальная скользящая опалубка— это современная и эффективная технология возведения высоких монолитных бетонных сооружений, таких как башни, дымовые трубы, силосы, высотные здания и другие объекты с вертикальными стенами [3].

Опалубка представляет собой жёсткую металлическую форму, которая по мере затвердевания бетона поднимается вверх без остановки процесса строительства. Внутри опалубки или вокруг неё располагается рабочая платформа, на которой находятся строители, арматурищики и бетонщики.

Основные этапы процесса [5]:

1) подготовка. Устанавливается нижняя часть опалубки и рабочая платформа. внутри размещается арматурный каркас.

2) заливка бетона. Бетон укладывается слоями по всему периметру опалубки.

3) подъём опалубки. Как только бетон набирает начальную прочность (обычно через 2–4 часа), вся система — опалубка и платформа — поднимается с помощью гидравлических домкратов на высоту следующего слоя (20–30 см).

4) выполняется непрерывный подъем опалубки с регулируемой скоростью до планируемой высоты объекта.

Вертикальное скользящее формование — один из самых прогрессивных способов строительства высотных бетонных объектов, обеспечивающий высокую производительность и качество работ.

Области применения скользящей опалубки:

- 1) ядра жесткости монолитных зданий [2];
- 2) лифтовые и лестничные шахты;
- 3) силосы;
- 4) дымовые трубы;
- 5) градирни;
- 6) надшахтные копры (конструкции над стволом шахты);
- 7) ёмкости для хранения жидкостей.

Преимущества скользящей опалубки:

- 1) тщательное планирование строительных процессов позволяет достичь высоких темпов производства.
- 2) получение бесшовной конструкции;
- 3) экономия материалов для опалубки — как на начальном этапе, так и за счёт меньшего количества отходов;
- 4) не требуется установка строительных лесов;
- 5) очень быстрое бетонирование — как минимум в четыре раза быстрее;
- 6) более высокая точность по сравнению с обычной опалубкой.
- 7) экономия материалов опалубки;
- 8) экономичность/целесообразность для конструкций определённого размера.

Скользкая опалубка оптимальна для быстрого возведения высотных бесшовных конструкций, но требует строгого соблюдения технологии и квалифицированного персонала. Переставная опалубка подходит для сложных проектов с разнообразными геометрическими формами, но менее производительна. Выбор метода зависит от конкретных задач строительства (Табл. 1).

Таблица 1-Сравнение скользящей опалубки с переставной

Параметр	Скользкая опалубка [1]	Переставная опалубка [4]
Принцип работы	Непрерывное поднятие опалубки по мере заливки бетона	Поярусное бетонирование с перемещением опалубки после затвердевания каждого яруса

Параметр	Скользкая опалубка [1]	Переставная опалубка [4]
Скорость бетонирования	До 500 мм/ч	Около 100 мм/ч
Тип конструкций	Бесшовные монолитные стены, башни, трубы, резервуары	Высокие бетонные элементы различной конфигурации, включая конические и цилиндрические формы
Требования к бетону	Высокая подвижность, быстрое схватывание	Более высокая прочность
Трудоёмкость	Высокая, требует высококвалифицированных специалистов	Высокая, особенно при монтаже и демонтаже
Применение в сложных условиях	Ограничено при частых перерывах в работе, сбоях поставок бетона	Более гибкая, позволяет приостанавливать работы при неблагоприятной погоде

Скользкую опалубку целесообразно принимать в следующих случаях:

- 1) высота сооружения должна составлять не менее 16 м;
- 2) толщина стены должна быть не менее 15 см;
- 3) эта система лучше всего подходит для таких сооружений, как силосы, градирни (охлаждающие башни), дымовые трубы, высотные здания и опоры.

Технология скользкой опалубки позволяет существенно сократить расходы — в первую очередь за счёт снижения затрат на оплату труда, поскольку с её применением сроки строительства заметно

сокращаются. При этом качество работ остаётся на высоком уровне: технология не ухудшает однородность конструкции и не снижает ее качество и надежность.

Важно отметить, что сама по себе установка скользящей опалубки не гарантирует автоматическую экономию — положительный финансовый эффект требует грамотной организации процесса. У технологии есть значительный потенциал для дальнейшего совершенствования, а её применение вполне возможно в строительстве высотных каркасных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. Хамед, Б. И. Анализ современных исследований работы железобетонных ядер и диафрагм жёсткости многоэтажных гражданских зданий / Б. И. Хамед, П. В. Сапожников, С. М. Есипов // Научные технологии и инновации (XXVI научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции. — Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. — С. 118-121.

3. ГОСТ 23478-2012 Опалубка строительная. Классификация и общие технические требования.

4. ГОСТ 34329-2017 Опалубка для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций. Общие технические условия.

5. Кочерженко, В. В. Технология возведения сооружений. — Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. — С. 116-122.

Доронин К.Е.

Научный руководитель: Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

БЕТОНЫ ДЛЯ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Твердение бетона при температуре ниже 0 °С без специальных мероприятий невозможно из-за прекращения гидратации цемента и опасности образования кристаллов льда, разрывающих структуру [1].

Для обеспечения необходимых условий для гидратации цемента при проведении строительных работ при отрицательных температурах окружающей среды используются специальные технологические приемы, которые позволяют проводить бетонные работы без ухудшения заданных свойств бетона, обеспечивают условия для благоприятного развития процессов твердения с ограничением или устранением негативного влияния температурных воздействий [2-4].

К числу таких технологических приемов относятся: предварительный прогрев материалов и бетонной смеси; изоляционные покрытия; прогрев бетона и использование химических добавок, ускоряющих гидратацию цементов и понижающих температуру замедления жидкой фазы [2].

В связи с этим, возникла необходимость проведения исследований о целесообразности применения легких бетонов для бетонирования при отрицательных температурах окружающей среды, обеспечивающих набор критической и марочной прочности без энергозатратного электропрогрева или с его минимизацией. Легкие бетоны, например керамзитобетон, чаще всего используют для изготовления бетонных конструкций в заводских условиях, а также при строительстве, в том числе для замоноличивания стыков этих конструкций, для кровель и оснований под полы промышленных зданий [5-8].

Состав монолитного легкого бетона подбирался с учетом класса В20 и с применением метода математического планирования эксперимента. В качестве исходных компонентов использовали вяжущее АО «Белгородский цемент», соответствующее ГОСТ 30515-2013; керамзитовый гравий Белгородского завода АО «Завод ЖБК-1» фракций 5-10 мм и 10-20 мм, соответствующий ГОСТ 32496-2013; кварцевый песок ЗАО «Хохольский песчаный карьер»,

соответствующий ГОСТ 22551-77; комплекс химических добавок (поташ (П) + фильтрат цитрата кальция (ФЦК)).

В качестве контрольного состава использовали бетон, изготовленный на портландцементе (ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н) с содержанием гипса до 5 %. Добавка вводилась в бетонную смесь с водой затворения. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси представлен в табл.

Таблица. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси

№	Наименование	Кол-во
1.	Цемент, кг	380
2.	Керамзит фракции 5-10 мм (марка 500), кг	450
3.	Керамзит фракции 10-20 мм (марка 450), кг	450
4.	Песок, кг	300
5.	Вода, л	215

Из легкого бетона изготавливали образцы кубы размером 10х10х10 см, которые после формования помещались в камеры с постоянной положительной (+ 20 °С) и отрицательной температурой (- 15 °С). Результаты испытаний прочности на сжатие легкого бетона в различных температурных условиях представлены на рис.

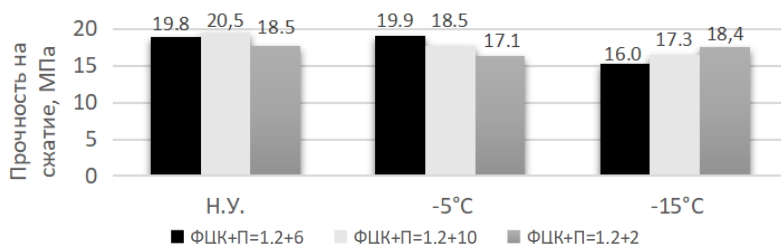


Рис. Испытания прочности на сжатие легкого бетона в температурных условиях (нормальные условия (н.у); -5 °С; -15 °С) при различных дозировках комплексной добавки (%)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что легкий бетон с комплексной добавкой довольно интенсивно твердеет при отрицательных температурах окружающей среды, а после размораживания продолжает набирать прочность.

Применяемые химические добавки положительно влияют на формирование структуры цементного камня, обеспечивая твердение в условиях отрицательных температур.

Сравнительные данные по прочности на сжатие легкого бетона подтверждают эффективность применения комплексной химической добавки в монолитном домостроении, что обуславливает продление загустения бетонной консистенции и положительно воздействует на образование структуры цементного камня в разных температурных режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 528 с.
2. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования. – М.: Стройиздат, 1975. – 312 с.
3. Захаров А.А., Сергеев В.П. Модифицированные бетоны для арктического строительства // Строительные материалы. – 2023. – № 1. – С. 24–29.
4. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.
5. Сулейманова Л.А., Сулейманов А.Г., Ерохина И.А. Общая закономерность получения материалов с высокими качественными показателями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2006. № 15. С. 155.
6. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №1. С. 9-16.
7. Погорелова И.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Применение сверхэффективных бетонов // Научные технологии и инновации: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Том 1, Часть 1. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 133-137.
8. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для отечественных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34-37.

Дуганов М.В.

Научный руководитель: Перевузник В.С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЕДИНЫЙ ПРОГРАММНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТУР ЛОКАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ БПЛА

Автономная навигация БПЛА требует не только получения данных о среде, но и организации устойчивого программного контура, в котором данные сенсоров, карта, планировщик и автопилот работают как единая система. В исследованиях по применению автономных робототехнических платформ для аграрных задач подчеркивается важность связки локализации, планирования и исполнительного управления [1]. Для задач движения групп роботов при наличии препятствий показана роль алгоритмического уровня планирования [2], однако практическая работоспособность таких алгоритмов определяется корректностью их включения в программно-аппаратную среду.

Разработать научно обоснованное описание единого вычислительного контура БПЛА, обеспечивающего передачу данных между моделированием, локальным планированием, автопилотом и средствами визуального контроля. Такая постановка не дублирует исследования по мультисенсорной идентификации и классификации препятствий, поскольку в центре внимания находится программная интеграция и экспериментальная проверка контура.

ROS 2 использует модульную модель узлов и обмена сообщениями через топики, что делает его удобной основой для распределенного управления робототехнической системой [3]. Связка PX4 и Gazebo позволяет предварительно отработать сценарии движения БПЛА в симуляционной среде до натурных испытаний [4]. Для задач построения карты и локализации применим RTAB-Map, ориентированный на длительное онлайн-картографирование [5]. При наличии нескольких агентов и подвижных объектов могут использоваться геометрические методы взаимного избегания столкновений, включая ORCA [6].

Состав программного контура приведен в таблице 1. Каждый модуль выполняет самостоятельную функцию, но его выходные данные должны быть согласованы по времени, системе координат и формату сообщений.

Таблица 1 - Функциональная структура единого контура БПЛА

Уровень	Содержание	Роль в эксперименте
Сенсорный уровень	Камера, IMU, одометрия и данные симулятора	Формирование входного потока наблюдений
Коммуникационный уровень	ROS 2-топики, сервисы, параметры	Передача команд, карт и состояний
Уровень планирования	Локальная траектория и проверка столкновений	Коррекция маршрута при появлении препятствия
Исполнительный уровень	PX4, MAVROS, команды скорости и позиции	Передача управляющих воздействий БПЛА
Контроль и анализ	RViz, Gazebo, логирование, Docker	Визуальная проверка и воспроизводимость экспериментов

На рисунке 1 показана схема связи модулей. В отличие от линейной обработки, контур имеет обратную связь: результаты визуального контроля и логирования используются для уточнения параметров планировщика и проверки команд, передаваемых через PX4/MAVROS.



Рис. 1 - Архитектура программно-экспериментального контура БПЛА

Методика интеграции. На первом этапе в Gazebo формируется сцена с препятствиями и несколькими БПЛА. ROS 2 обеспечивает обмен сообщениями между узлами симуляции, планирования и визуализации, а PX4 обрабатывает команды управления аппаратом. В разработанном контуре управляющая логика реализуется на Python, что упрощает запуск экспериментов, изменение параметров траектории и анализ результатов.

Локальный планировщик получает сведения о текущем положении БПЛА, целевой точке, ограничениях сцены и состоянии соседних агентов. При обнаружении пересечения текущей траектории с

препятствием запускается коррекция маршрута. В практической реализации важно, чтобы частота обновления состояния и задержка обработки оставались согласованными с динамикой БПЛА, иначе даже корректный алгоритм может выдавать устаревшие команды.

Отдельным элементом контура является программный комплекс формирования полетных заданий. Он включает модуль формирования группы БПЛА, модуль планирования траекторий и модуль реконфигурации. При изменении состояния аппарата, снижении заряда или нарушении связи система перераспределяет задачи между доступными агентами. Пользовательский интерфейс реализован на Tkinter и предназначен для выбора миссии, задания параметров полета и контроля выполнения.

В таблице 2 представлены экспериментальные сценарии, использованные для проверки работоспособности программного контура в симуляционной и натурной среде.

Таблица 2 - Сценарии проверки программного контура

Сценарий	Содержание опыта	Проверяемый результат
Симуляция группы	Три БПЛА выполняют индивидуальные команды после взлета	Проверка обмена данными и управления несколькими агентами
Линейное движение	Перемещение к заданной точке с фиксированной скоростью	Оценка корректности команд PX4 и визуализации
Дугообразный маневр	Обход препятствия при недостаточной высоте пролета	Проверка локальной коррекции траектории
Несколько препятствий	Картографирование сцены и последовательный обход объектов	Проверка SLAM и устойчивости планирования
Натурный полигон	Испытания на БПЛА с контроллером PX4 и камерой RealSense	Подтверждение переносимости контура

Симуляционные эксперименты подтвердили корректную обработку команд взлета, линейного перемещения и движения по дуге. При групповом размещении БПЛА была выявлена погрешность начального позиционирования порядка 0,3-0,5 м: данные датчиков соответствовали заданным координатам, тогда как визуально в Gazebo наблюдалось смещение. Этот результат важен методически, поскольку показывает необходимость включения в контур этапа визуальной верификации и буферов безопасности.

Натурная проверка показала, что контур применим для автономного обхода препятствий на тестовом полигоне. При достаточной высоте БПЛА выбирал прямой проход через отверстие в препятствии, а при недостаточной высоте выполнял обход по дуге. В опыте с несколькими препятствиями камера RealSense и SLAM-модуль обеспечили построение карты, а планировщик сформировал безопасную траекторию обхода.

На рисунке 2 приведено относительное сравнение показателей до и после интеграции модулей в единый контур. Использование согласованного обмена данными снижает время перепланировки и уменьшает число потенциальных столкновений, а также позволяет явным образом учитывать ошибки позиционирования.

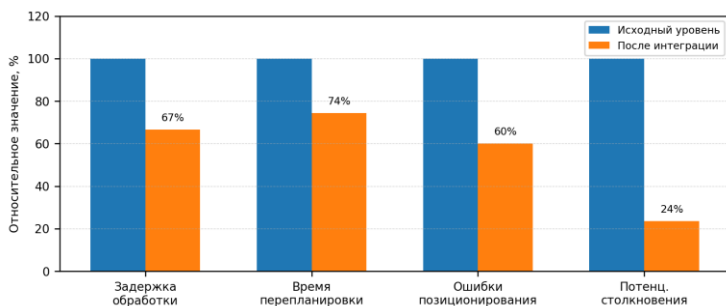


Рис.2 - Сравнение показателей до и после интеграции модулей

Полученные результаты показывают, что программная интеграция является самостоятельным фактором надежности автономной навигации. Даже при наличии корректных алгоритмов локального планирования система может терять устойчивость из-за рассогласования частот обмена, различий систем координат или задержек передачи команд. Поэтому единый контур должен включать не только планировщик, но и средства синхронизации, логирования, визуального контроля и реконфигурации.

Предложенная структура может быть расширена за счет добавления распределенного планировщика для группы БПЛА, более строгой диагностики состояния узлов ROS 2 и автоматического протоколирования всех экспериментов. Перспективным направлением является также введение стандартных наборов тестовых сценариев, позволяющих сравнивать разные алгоритмы планирования в одинаковых условиях.

Разработано описание единого программно-экспериментального контура БПЛА, объединяющего ROS 2, Gazebo, PX4, средства визуализации, локальный планировщик и пользовательский интерфейс формирования заданий. На основе отчета показано, что такая интеграция обеспечивает воспроизводимость вычислительных экспериментов, упрощает переход к натурным испытаниям и повышает надежность локальной коррекции траектории. Основные направления дальнейшей работы связаны с уменьшением ошибки начального позиционирования, автоматической синхронизацией модулей и расширением проверки на сценарии группового взаимодействия.

Работа выполнена при поддержке государственного задания FRRU-2024-0003 № 217ФБ научно-исследовательской лаборатории беспилотных летательных аппаратов ФГБОУ ВО ДонГТУ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cherkasov V.V., Malyshev D.I., Rybak L.A. Method for localization and trajectory planning of a robotic system based on autonomous vehicles for smart farming // AIP Conference Proceedings. - 2025. - V. 3205. - No. 1: 080002.

2. Рыбак Л.А., Малышев Д.И., Дьяконов Д.А., Мамченкова А.А. Генетический алгоритм планирования траектории движения группы мобильных роботов при наличии стационарных и подвижных препятствий // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2025. - № 2 (244). - С. 175-185.

3. Macenski S., Foote T., Gerkey B., Lalancette C., Woodall W. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild // Science Robotics. - 2022. - V. 7. - No. 66: eabm6074.

4. Meier L., Honegger D., Pollefeys M. PX4: A node-based multithreaded open source robotics framework for deeply embedded platforms // IEEE International Conference on Robotics and Automation. - 2015. - P. 6235-6240.

5. Labbé M., Michaud F. RTAB-Map as an open-source lidar and visual SLAM library for large-scale and long-term online operation // Journal of Field Robotics. - 2019. - V. 36. - No. 2. - P. 416-446.

6. Van den Berg J., Guy S.J., Lin M., Manocha D. Reciprocal n-body collision avoidance // Robotics Research. - 2011. - P. 3-19.

*Дятлов Н.Ю., Матусов М.Г., Исса Ю.М.
Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ФУТЕРОВОК.

Тонкое измельчение является одним из основных переделов цементного производства, определяющим технико-экономические показатели процесса и качество цемента. В качестве основного агрегата, используемого для аппаратурного оформления процесса помола, служит шаровая трубная мельница, коэффициент полезного действия которой чрезвычайно низок. Несмотря на это в настоящее время нет другого более высокопроизводительного и надежного в эксплуатации агрегата для производства цемента. В связи с этим задача повышения эффективности работы трубных мельниц путем внедрения внутримельничных конструктивно-технологических элементов является одной из основных задач на настоящем этапе развития техники и технологии измельчения.

Технико-экономические показатели работы помольного агрегата - производительность, расход электроэнергии, качество цемента, надежность работы обуславливаются большим числом факторов и параметров, которые условно можно подразделить на 4 группы.

физические и физико-химические свойства шихты и цемента.

Схемы помольных систем.

Конструктивно-технологические характеристики мельницы.

Режимные характеристики и параметры.

Важнейшим фактором, в значительной мере определяющим эффективность процесса является правильное решение о выборе типа бронефутеровки. В работах рассматривался вопрос влияния рабочего профиля бронефутеровки на эффективность процесса измельчения. Установлено, что профиль бронефутеровки определяет режим работы мелющих тел и их классификацию по длине мельницы. Разработка оптимальных конструкций бронефутеровок обеспечивает повышение эффективности процесса измельчения и должна основываться на кинетике процесса и параметрах зернового состава цемента.

В связи с этим необходимо рассмотреть конструкции и функциональное назначение бронефутеровки как средства получения цементов с требуемыми характеристиками дисперсности и одного из

способов повышения эффективности процесса и технико-экономических показателей работы помольных агрегатов.

В авторском свидетельстве No2124947 класс B02C 17/18 целью изобретения является повышение эффективности процесса измельчения при одновременном обеспечении сохранности кристаллического ценного компонента. Для этого поверхность футеровочной плиты имеет каблучковый профиль, при этом необходимо расположение в ряду подъемных элементов максимальной высоты на расстоянии, соответствующем трехкратной высоте минимального элемента, которое обеспечивает выделение из потока материала куса той крупности, которая позволяет получить в процессе самоизмельчения максимальный выход готового продукта.

В авторском свидетельстве No2028817 класс B02C 17/22 целью изобретения является повышение надежности путем регулирования угла наклона плит в сторону вращения мельницы.

Для этого каждая наклонная плита 1 оснащена передними и задними по ходу вращения мельницы шарнирными узлами, размещенными на нерабочей поверхности плиты 2, при этом крепления-опоры 3 передних шарнирных узлов выполнены нерегулируемыми, а задних регулируемыми по высоте (рис. 1).

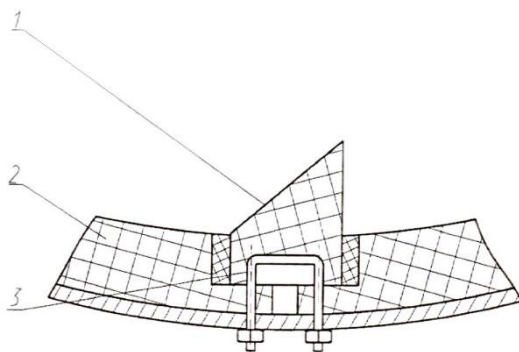


Рис. 1. Футеровочная плита с шарнирными узлами.

1 – наклонная плита, 2 – нерабочая поверхность плиты, 3 – крепления-опоры.

В техническом решении фирмы Metso, предполагается увеличение срока службы элементов футеровки путем технологичности ее изготовления.

Для этого футеровку, состоящую из промежуточной плиты 3, малого лифтера 1, большого лифтера 2 изготавливают из износостойкой

резины, при этом лифтеры дополнительно имеют металлические вкладыши 4 и систему крепления 5, соединенные с резиной химическим способом. Благодаря минимальной высоте металлических профилей и болтов 6, футеровка изнашивается до минимума, не повреждая систему крепления (рис. 2).

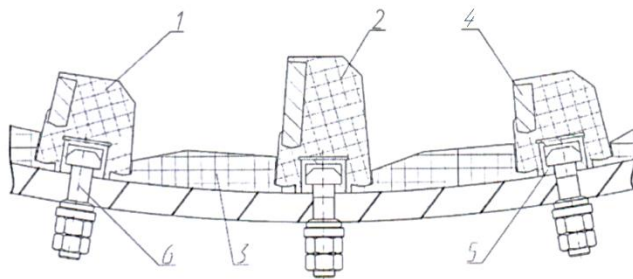


Рис. 2 Гибридная резинометаллическая футеровка.

1 – малый лифтер; 2 – большой лифтер; 3 – промежуточная плита;
4 – металлические вкладыши; 5 – система крепления; 6 – болтовое соединение.

Данная конструкция показалась самой рациональной для внедрения в производства, но и она не решена недостатков. Поэтому, для улучшения работы футеровки необходимо идти по пути использования резино-металлических футеровочных плит, а также применения высокопрочных сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц – М.: Машиностроение, 1985. – 184с.
2. Изенев В.Н., Косов С.М., Кочнев В.Г., Карачабан Н.Г., Смольников В.А. Мельница самоизмельчения. Патент РФ № 2124947 МПК В02С17/18. Опубликовано 20.01.1999
3. Чижик Е.Ф., Хабло Г.П. Сортирующая футеровка барабанной мельницы. Патент РФ № 2028817 МПК В02С17/22. Опубликовано 20.02.1995
4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Картыгин А.В., Белоус А.С. Влияние параметров бронефутеровки с переменным коэффициентом сцепления на кинетику и эффективность процесса измельчения // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 133–138.

5. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Белоус А.С., Денисова Е.М., Белоус Ю.Е. Футеровка – важнейший конструктивный элемент цементных мельниц // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXI. – 2022. – С.266–269.

УДК 519.876.5:004.94

Егоркин А.Е., Козлов И.А.

Научный руководитель: Смирнов Д.С., канд. экон. наук, доц.
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Россия*

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ УЧЕБНОГО МОДУЛЯ ПО РЕГРЕССИОННОМУ АНАЛИЗУ

В курсах по машинному обучению размер учебных потоков таков, что подготовка индивидуальных наборов данных вручную достаточно трудоёмка: требуется не просто получить набор отличных друг от друга датасетов, но и гарантировать, что каждый из них приводит к содержательно решаемой задаче. Эта проблема характерна для широкого круга задач и применяемых методов и распространяется на все используемые в курсе модели машинного обучения [1]. В настоящей работе рассматриваются табличные наборы данных, признаков с заданными диапазонами, содержательной интерпретацией и фиксированной структурой целевой переменной. В таких условиях возникает потребность в автоматизации не отдельной генерации, а полноценного алгоритма, в котором этап генерации жёстко связан с этапом валидации применимости получаемого датасета как учебной задачи.

В настоящей работе предложен алгоритм генерации и валидации синтетических наборов данных для учебного модуля по регрессионному анализу. Алгоритм обеспечивает три плохо совместимых при наивной реализации свойства: предметную интерпретируемость признаков, вариативность структур зависимостей между вариантами и контролируемую сложность задачи. Под последней понимается то, что задача не решается тривиальной подстановкой всех признаков в одну линейную модель, но при правильно подобранных преобразованиях остаётся решаемой методами регрессионного анализа в рамках курса [1, 2].

Идеологической основой генератора послужил Всемирный доклад о счастье (World Happiness Report) [3], в котором уровень национального счастья моделируется регрессией от набора показателей разной природы - макроэкономических, демографических и опросных. В предлагаемом алгоритме эта идея развита до двухуровневой причинной схемы: внешние характеристики респондента и его сообщества (признаки причины) порождают субъективные индексы восприятия (признаки состояния), которые, в свою очередь, определяют значение целевой переменной.

Ключевая особенность метода состоит в том, что зависимости признаков состояния от признаков причины формируются не одной фиксированной моделью, а случайным выбором из семейства функциональных форм: линейных, логарифмических, степенных, кусочно-линейных и моделей с парным взаимодействием [4]. Для каждого признака состояния случайно определяются тип модели, состав факторов и коэффициенты; знаки коэффициентов согласованы с предметной логикой признаков. Целевая переменная - категориальное «ощущаемое счастье» по 10-балльной шкале Кантрилла [3] - получается кластеризацией методом k-средних по релевантному подмножеству признаков состояния с последующим упорядочиванием кластеров по среднему скрытому индексу. Такая конструкция затрудняет тривиальное решение задачи через сквозную подстановку всех признаков.

Общая структура предложенного алгоритма, объединяющего этап генерации и этап валидации в едином цикле, представлена на рис. 1. Входом алгоритма служит спецификация диапазонов признаков и скрытых параметров причинной структуры. На этапе нормализации задаётся содержательная связь между признаками, после чего выполняется генерация полного набора данных в порядке: признаки причины, признаки состояния, целевая переменная. Полученный набор передаётся на этап валидации, где обучаются две эталонные модели и вычисляются метрики их качества. Если условия приёма выполнены, набор сохраняется в виде преподавательского и студенческого файлов; в противном случае выполняется возврат к этапу генерации с повтором цикла до получения корректного варианта.

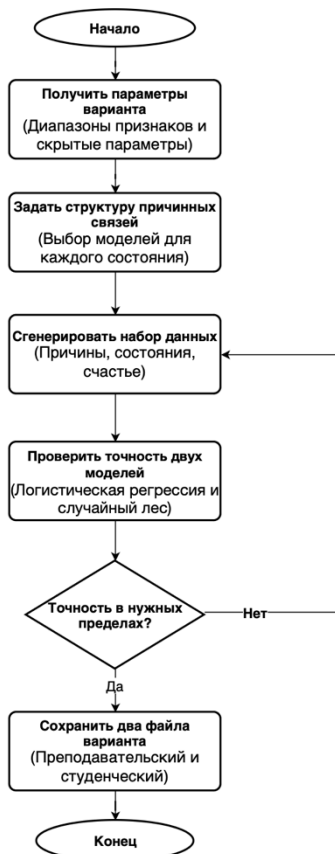


Рис. 1 Блок-схема алгоритма

Алгоритм реализован в среде R [2] с использованием пакетов `openxlsx`, `nnet`, `randomForest` и `yardstick`. В качестве предметного кейса использован социологический набор данных, имитирующий выборочное обследование благополучия: десять признаков причины (доход, коэффициент Джини, охват беспроводной связи, размер семьи, годы образования, потребление алкоголя, доля расходов на продовольствие, экологические издержки, респираторная смертность, волатильность цен), категориальный фактор сферы занятости и тринадцать признаков состояния. Для каждого варианта формируются два файла: преподавательский с полными значениями всех признаков и целевой переменной и студенческий, в котором для случайного

подмножества респондентов одновременно скрыты значения признаков состояния и целевой переменной. Студент по обучающей части (с известными состояниями и счастьем) реконструирует структуру модели и применяет её для предсказания счастья на тестовой части, где доступны только признаки причины. Это требует не подбора предсказательной модели по принципу прямого отображения входов в выходы, а интерпретации причинной структуры данных.

Качество получаемых вариантов оценивается по микроусреднённой точности (микро-precision) [1] двух эталонных моделей, обученных на признаках причины: мультиномиальной логистической регрессии (имитация решения задачи прямой подстановкой всех признаков, без преобразований) и случайного леса (оценка верхней границы решаемости задачи) [4]. На сгенерированных вариантах средняя точность логистической регрессии составила около 0,30, тогда как средняя точность случайного леса достигла 0,88. Разрыв между этими значениями соответствует пространству содержательной работы студента: тривиальная подстановка признаков лишь незначительно превышает случайное угадывание (0,10 для десятиклассовой задачи), тогда как корректный анализ причинной структуры с применением преобразований и отбора факторов позволяет приблизиться к качеству сильного нелинейного метода.

Полученные результаты подтверждают, что предложенный алгоритм обеспечивает заявленные свойства: индивидуальные варианты различаются по структуре зависимостей, сохраняют предметную интерпретируемость и не сводятся к тривиальной задаче. Объединение генерации и валидации в едином цикле позволяет масштабировать выдачу учебных вариантов в курсах с большим числом обучающихся.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистика: учебник для бакалавров / ред. В.С. Мхитарян. - М.: Юрайт, 2013. - 590 с.
2. Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А. и др. Наглядная статистика. Используем R! - М.: ДМК Пресс, 2014. - 298 с.
3. Helliwell J.F., Layard R., Sachs J.D., De Neve J.-E., Aknin L.B., Wang S. (Eds.) World Happiness Report 2024. - UN Sustainable Development Solutions Network, 2024. - 158 с.
4. Метрический анализ и обработка данных: учебное пособие / А.В. Крыанев, Г.В. Лукин. - М.: Физматлит, 2012. - 280 с.

Епифанов А.В., Рябинин Д.О.

*Научный руководитель: Скоробогатов М.Э., канд. техн. наук.
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Развитие транспортных коридоров Восток-Запад неразрывно связано с совершенствованием технических средств, так как отечественный железнодорожный транспорт опираются на концепцию обеспечения безопасности движения поездов [1]. Для достижения указанной цели повсеместно используются рельсовые цепи (РЦ), которые представляют собой стационарные датчики, состоящие из рельсовой линии и оборудования, подключаемого на питающем и релейном концах [2]. Классически выделяют следующие функции: контроль свободности/занятости участка пути, контроль целостности рельсовой линии, передача кодов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) [3-4].

В дополнение к перечисленным выше классическим функциям, современные РЦ всё чаще используются для передачи дополнительной служебной информации. В контексте развития коридоров Восток-Запад особое внимание при этом уделяется обеспечению электромагнитной совместимости РЦ с тяговым током (постоянным и переменным), исключения влияния станционных элементов объектов инфраструктуры, а также с устройствами АЛС [5-6]. Таким образом, РЦ эволюционируют от простых датчиков пути до многофункциональных информационно-измерительных систем, играющих ключевую роль в повышении пропускной способности и безопасности на основных транспортных маршрутах.

Таким образом данная статья направлена на анализ и систематизацию существующих РЦ, применяемых на отечественном железнодорожном транспорте.

Фазочувствительные рельсовые цепи. Это тип рельсовых цепей переменного тока, в которых приёмник сигнала (обычно двухэлементное реле типа ДСШ) реагирует не только на амплитуду напряжения, но и на его фазу. Главная цель фазочувствительной рельсовой цепи – обеспечение высокой помехоустойчивости и избирательности: предотвращение ложной занятости или свободности

пути из-за помех от соседних цепей, особенно при повреждении изолирующих стыков и неисправностях подвижного состава [7].

Принцип работы такой рельсовой цепи основан на генерации определенной фазы сигнала на питающем конце. На приемном же конце установлено реле с двумя обмотками, при этом путевая обмотка получает питание от рельсовой линии, а местная обмотка питается источника на посту ЭЦ, но со сдвигом фазы [8].

Реле срабатывает только при идеальном сдвиге фазы между сигналами путевой и местной обмотки. В соседней рельсовой цепи фаза инвертирована (сдвинута на 180°), что обеспечивает обесточивание реле при сходе сопротивления изолирующего стыка. К преимуществам ФРЦ относятся: устойчивость к тяговым токам (особенно при частоте сигнального тока 25 Гц), надёжное разделение смежных рельсовых цепей и стабильная работа при колебаниях напряжения.

К недостаткам ФРЦ относятся: низкий коэффициент возврата реле, механическая уязвимость секторных реле (помехи, износ) и ограниченная длина (до 1200–1500 м).

Традиционные релейные ФРЦ постепенно заменяются микропроцессорными фазочувствительными приемниками, которые не имеют движущихся частей, и, тем самым, обеспечивают более точное фазовое управление и могут быть интегрированы в системы цифровой обработки сигналов. Однако на многих станциях и путях до сих пор используются проверенные временем схемы с реле ДШ-12/13.

Кодовые рельсовые цепи. Эти цепи являются основой интервального управления движением поездов на отечественных железных дорогах. В них информация о состоянии впередилежащего участка передаётся с помощью кодовых комбинаций – определённого количества импульсов тока в одном цикле.

В числовой кодовой автоблокировке (ЧКАБ) используются три типа кодов:

код КЖ (красно-жёлтый) – 1 импульс за цикл (движение с готовностью к остановке);

код Ж (жёлтый) – 2 импульса (движение с пониженной скоростью);

код З (зелёный) – 3 импульса (движение с заданной скоростью).

Главной особенностью ЧКАБ является передача сигналов по рельсовым линиям без использования дополнительных проводов или кабельных сетей. Кодовые сигналы всегда передаются навстречу движения поезда. При этом путевые устройства распознают эти коды и управляют показаниями светофоров на их основе. Одновременно эти же коды принимаются на борту поезда через катушки системы АЛСН

(автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа), дублируя показания напольных светофоров в кабине машиниста [9].

Для введения кодов в рельсовые линии используются трансмиттеры (КПТШ, БКПТ, ЭКПТ и др.), принцип работы которых заключается в формировании импульсов постоянного тока, которые управляют работой трансмиттерного реле.

Таким образом, кодовые рельсовые цепи обеспечивают решение двух эксплуатационных задач: передача информации о состояниипереди лежащих участках пути в кабину машиниста и возможность автоматического управления напольными светофорами, что комплексно что гарантирует высокий уровень безопасности движения поездов.

Тональные рельсовые цепи. Указанный тип рельсовых цепей использует в качестве сигнального тока амплитудно-модулированный (АМ) сигнал с несущими частотами в диапазоне 400-800 Гц, что исключает его наложение на гармоники тягового тока в рельсах и, тем самым, способствует повышению помехоустойчивости ТРЦ. Кроме того, так как каждый приёмник ТРЦ настраивается на соответствующую частоту генератора, а повторять одну и ту же пару частот можно только не менее чем через две рельсовые цепи, то при применении ТРЦ на перегонах появляется возможность исключить из своего состава изолирующие стыки.

Для формирования АМ сигнала (например, 420/8 Гц) используется бесконтактный путевой генератор (ГП). Далее этот сигнал поступает на путевой фильтр (ФПМ), который предназначен для защиты аппаратуры питающего конца ТРЦ от существенных гармонических воздействий от тягового тока в рельсах. Для сопряжения аппаратуры питающего конца с рельсовой линией и ввода АМ сигнала также используются перемычки и трансформаторы. В процессе распространения АМ сигнала по рельсовой линии он ослабевает в связи с высоким сопротивлением рельсовой линии к тональным частотам из-за индуктивного характера сопротивления рельсов. На релейном конце ТРЦ сигнал также проходит через устройства защиты и сопряжения и попадает на гетеродинный путевой приёмник (ПП), который выделяет полезный сигнал на фоне помех и, в случае его достижения требуемого значения, включает путевое реле, которое подключено к его выходу.

Таким образом, среди основных преимуществ ТРЦ можно выделить:

- высокая помехоустойчивость при воздействии стационарных гармонических и случайных импульсных помех;

- снижение затрат на строительство и эксплуатацию в связи с исключением изолирующих стыков на перегоне
- высокая чувствительность к излому рельсовой линии и сниженные требования к состоянию балласта.

Современное развитие тональных рельсовых цепей направленно на повышение их длины в том числе для высокоскоростного движения. Тенденция на исключение напольных светофоров в рамках бес сигнальных систем интервального регулирования движения поездов, где требования к путевым датчикам контроля положения подвижного состава наиболее важны широкое применение находят именно тональные рельсовые цепи. Однако важным недостатком применения данных рельсовых цепей является наличие зоны дополнительного шунтирования (длиной несколько сот метров), где занятость участка пути фиксируется до фактической границы блок-участков.

Применяемые в настоящий момент рельсовые цепи демонстрируют развитие систем железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием современных средств науки и техники. Так фазочувствительные рельсовые цепи являются надёжным средством контроля состояния участков пути и используют реле ДСШ несмотря на их механическую уязвимость. Кодовые рельсовые цепи, которые используют числовые комбинации КЖ, Ж и З, имеют повышенную длину (2600 м) и могут передавать кодовые послышки на разных несущих частотах (25, 50 или 75 Гц) в зависимости от рода тяги на конкретном участке железной дороги. Тональные же рельсовые цепи осуществляют контроль с помощью бесконтактной аппаратуры, формирующей и принимающей амплитудно-модулированный сигнал. Дальнейшее развитие рельсовых цепей направлено на увеличение их длины, повышение помехоустойчивости и качество обнаружения внутренних дефектов элементов пути и аппаратуры питающих и релейных концов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоголов, Ю. И. Усиление технического оснащения четной системы железнодорожной станции как ключевой фактор прироста пропускных и перерабатывающих мощностей Восточного полигона / Ю. И. Белоголов, М. В. Малова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2025. – № 3(87). – С. 72-81. – DOI 10.26731/1813-9108.2025.3(87).72-81. – EDN HNEUTY.
2. Скоробогатов, М. Э. Методика определения местоположения хвоста подвижного состава в пределах рельсовой цепи / М. Э.

Скоробогатов // Транспортное дело России. – 2025. – № 7. – С. 247-250. – EDN GOJSVW.

3. Патент № 2727077 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Однополосный цифровой фильтр для автоматической локомотивной сигнализации : № 2019114631 : заявл. 13.05.2019 : опубл. 17.07.2020 / М. Э. Скоробогатов, А. В. Пулятков, В. В. Демьянов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИрГУПС). – EDN BWXJQI.

4. Скоробогатов, М. Э. Узкополосный цифровой фильтр для выделения сигналов АЛСН в условиях действия интенсивных помех / М. Э. Скоробогатов // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 20-27. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-20-27. – EDN NMFMBD.

5. Копанев, М. В. Математическая модель формирования надежности стрелочного электропривода / М. В. Копанев, Л. Я. Кучера // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Т. 1. – С. 244-249. – EDN WGBSXT.

6. Востриков, М. В. Автоматизация устройств релейной защиты на основе моделирования режимов системы тягового электроснабжения / М. В. Востриков, А. В. Димов, К. В. Менакер // Автоматика, связь, информатика. – 2026. – № 4. – С. 2-6. – DOI 10.62994/AT.2026.4.4.001. – EDN PEWCIO.

7. Устройство автоматизации проверки качества посадки малой шестерни на вал тягового двигателя локомотива / М. В. Копанев, А. В. Пулятков, В. А. Алексеенко, М. Э. Скоробогатов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2025. – № 4. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.4.2025.1571. – EDN DHUEAS.

8. Целищев, В. А. Процессное моделирование рельсовой цепи / В. А. Целищев // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2021. – № 2(10). – С. 25-32. – DOI 10.26731/2658-3704.2021.2(10).25-32. – EDN BKNJYL.

9. Скоробогатов, М. Э. Эффективность работы локомотивного фильтра АЛСН / М. Э. Скоробогатов, А. В. Пулятков // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Т. 1. – С. 342-345. – EDN YSYRUV.

Ерин В.А.

*Научный руководитель: Рябчевский И.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИМУЩЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА АГРОХОЛДИНГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Агропромышленный комплекс России демонстрирует устойчивый рост, однако сдерживающим фактором остается критический износ основных фондов, достигающий в ряде холдингов 60–70 %. Традиционная стратегия эксплуатации оборудования и зданий «по регламенту» или аварийно-восстановительная модель «по факту отказа» в современных условиях неэффективны. Специфика агрохолдингов – агрессивные технологические среды, ярко выраженная сезонность нагрузок и территориальная распределенность объектов – требует перехода к эксплуатации на основе данных диагностики. Только такой подход позволяет прогнозировать отказы, планировать ремонты при реальной необходимости и тем самым продлевать жизненный цикл как зданий и сооружений, так и машинно-тракторного парка. Целью настоящей работы является разработка и обоснование мероприятий по совершенствованию технической эксплуатации имущественного комплекса агрохолдинга посредством внедрения методов неразрушающего контроля и предиктивной диагностики [1-5]. Объектом исследования выступил имущественный комплекс условного агрохолдинга «Южный» (молочное животноводство и растениеводство) с фондом основных средств 850 млн руб., включая парк из 80 тракторов и 40 комбайнов.

Техническая диагностика в контексте агрохолдинга должна охватывать три уровня: объектный, локальный и корпоративный. На объектном уровне производятся первичные измерения: параметры вибрации коробок передач, тепловые поля подшипников, сопротивление изоляции электродвигателей. На локальном уровне осуществляется предварительная обработка сигналов и сравнение с пороговыми значениями. На корпоративном – анализ тенденций и прогнозирование остаточного ресурса. Эффективность диагностики определяется не объемом сырых данных, а качеством их интерпретации. Для агрохолдинга с парком машин более 100 единиц целесообразно применять три основных метода: вибродиагностику,

термографию и анализ смазочных материалов. Вибродиагностика позволяет выявлять дефекты подшипников и зубчатых передач на ранней стадии; термография раскрывает тепловые аномалии в электрических узлах и дефекты теплоизоляции ограждающих конструкций; трибодиагностика дает объективную картину износа трущихся пар по содержанию металлических частиц в масле. Ключевой особенностью агрохолдинга является сезонность: в периоды посевной (апрель–май) и уборочной (август–октябрь) кампаний частота диагностики должна увеличиваться как минимум вдвое с переходом от выборочного контроля к сплошному мониторингу наиболее нагруженных агрегатов [5, 6].

Анализ текущей системы эксплуатации агрохолдинга «Южный» выявил ее реактивный характер и отсутствие единой базы данных технического состояния. Износ инженерных сетей в среднем достиг 65 %, а затраты на аварийные ремонты выросли за год на 15 %, составив 7,8 млн руб. В рамках инструментальной диагностики были обследованы два ключевых объекта: корпус доильного блока (постройка 1985 г.) и ангарный зерносклад (постройка 2010 г.). Тепловизионный контроль доильного блока выявил дефекты тепловой изоляции стен с перепадом температур на внутренней поверхности до 8 °С, что приводит к выпадению конденсата, промерзанию и развитию плесени, снижающей продуктивность животных. Визуальный осмотр несущих металлоконструкций зерносклада показал коррозию нижних поясов ферм покрытия с потерей сечения до 15 % в местах протечек кровли и разрушение бетонного пола из-за сверхнормативных нагрузок. Параллельно выполнена оценка машинно-тракторного парка: без предиктивной диагностики время внеплановых простоев одного комбайна составляет 64 часа за сезон, затраты на ремонт – 450 тыс. руб., потери урожая из-за отказов – 210 тыс. руб., а суммарные операционные потери достигают 724 тыс. руб. на единицу техники в сезон.

Для перехода к предиктивной модели эксплуатации разработан комплекс организационных и технических мер. В организационной части предусматривается внедрение автоматизированной системы управления ТОРО («1С:ТОРО») для паспортизации объектов, формирования чек-листов осмотров и планирования ремонтов по фактическому состоянию. В технической части для доильного блока предложено утепление фасада напылением пенополиуретана и монтаж рекуператора тепла в системе вентиляции; для зерносклада – усиление несущих ферм стальными накладками, капитальный ремонт кровли с заменой профлиста и устройство износостойкого полимерного покрытия пола. Для машинно-тракторного парка предусмотрено

оснащение виброанализаторами («Диамех» или Fluke 810 – 2,5 млн руб.), тепловизорами (~1,2 млн руб.) и программным обеспечением для анализа трендов (~3 млн руб.); несмотря на первоначальные капитальные затраты, операционные результаты перекрывают их уже в течение первого сельскохозяйственного года [7].

Предотвращенный ущерб от ликвидации протечек в зерноскладе (сохранность 1 000 т зерна) и восстановления продуктивности в доильном блоке (480 000 л молока в год) суммарно составляет около 34 млн руб. Даже с учетом только прямого снижения затрат на аварийные ремонты на 3,9 млн руб. инвестиции в проект объемом 4,2 млн руб. окупаются менее чем за полгода. По машинно-тракторному парку предиктивная диагностика сокращает аварийные простои с 12 до 4,5 % от фонда рабочего времени, снижает складской запас запасных частей на 22 % и увеличивает межремонтный цикл двигателей на 18 % благодаря своевременной замене масла по данным спектрограммы, а не по жесткому календарю [8].

Таким образом, переход от реактивной к предиктивной системе эксплуатации на основе тепловизионного и визуально-инструментального контроля позволяет не только предотвратить лавинообразное разрушение конструкций, но и трансформировать всю логику управления ресурсом имущественного комплекса агрохолдинга. Внедрение предложенной модели в агрохолдинге «Южный» демонстрирует предотвращение упущенной выгоды на десятки миллионов рублей и сокращение срока окупаемости ремонтных инвестиций до менее одного года. Наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является создание цифровых двойников отдельных агрегатов (двигатель, трансмиссия, гидросистема), интегрирующих в реальном времени данные телеметрии с CAN-шины и результаты периодического неразрушающего контроля. Такой подход позволит моделировать не только текущее состояние, но и сценарии нагрузок, выдавая оператору рекомендации по щадящим режимам работы, а интеграция датчиков деформаций в единую цифровую среду предприятия сформирует новый стандарт надежности агропромышленного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цэдашиев, Ц. В. Анализ современных разработок в области технической диагностики / Ц. В. Цэдашиев, А. В. Шарыпов, Ц. В. Цэдашиев // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы всероссийской научно-практической

конференции. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – Том III. – С. 145-153.

2. Сулейманова, Л. А. Совместное моделирование ограждающих конструкций зданий / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский, Н. А. Атапина // Университетская наука. – 2021. – № 1(11). – С. 77-79.

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 Междунар. научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Том 1. – С. 240-245.

4. 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.

5. Мониторинг состояния предприятий инженерно-технической инфраструктуры АПК по техническому обслуживанию и ремонту отечественной и импортной сельхозтехники. – Москва: Минсельхоз России, 2009. – 98 с.

6. Ревякин, М. М. К вопросу о диагностировании мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения / М. М. Ревякин, А. А. Жосан, С. И. Головин // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 4(33). – С. 176-181.

7. Солоницын, Е. В. Переход на систему агрегатного ремонта машин в сельском хозяйстве уже не миф / Е. В. Солоницын // Достижения науки - агропромышленному производству: материалы LIV международной научно-технической конференции, Челябинск, 29–31 января 2015 года / Под редакцией П.Г. Свечникова. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2015. – Том III. – С. 118-124.

8. Семенов, И. А. Планово-предупредительная система ремонта / И. А. Семенов, П. Н. Шорохов // Молодежь и наука. – 2016. – № 6. – С. 48.

*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*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Искусственный интеллект (ИИ) способен произвести революцию в строительной отрасли. В административной работе ИИ помогает создавать планы и проекты, управлять поставщиками, распределять ресурсы и контролировать затраты — быстрее и эффективнее, чем когда-либо прежде. На строительной площадке он повышает безопасность рабочих и производительность, в том числе за счёт роботизированного оборудования. Согласно отчёту Autodesk Design & Make Report (2025), более 76% руководителей в сфере архитектуры, инженерии и строительства (АЕСО) заявляют об увеличении инвестиций в ИИ, что на 9% больше, чем в предыдущем году. По прогнозам Mordor Intelligence, к 2029 году рынок ИИ в строительстве достигнет 11,85 млрд долл. США (среднегодовой темп роста 24,31%), а рынок ИИ в интеллектуальных зданиях и инфраструктуре вырастет до 78 млрд долл.

Тем не менее внедрение ИИ в отрасли долгое время происходило с перебоями. Причина — сложность строительных проектов, участие множества партнёров и поставщиков, а также зависимость от финансовых возможностей компаний, управленческих навыков и стремления к инновациям. Цель данной статьи — объединить разрозненные данные о применении ИИ в строительстве и управлении зданиями, представить целостную картину его возможностей, ограничений и перспектив.

1. Применение ИИ на этапах жизненного цикла строительного объекта.

1.1. Предпроектная подготовка и проектирование

ИИ улучшает все аспекты подготовки: разработку проекта, выбор подрядчика, анализ рисков, получение разрешений. Алгоритмы машинного обучения создают детальные технико-экономические обоснования, анализируя финансовые данные, рыночные индикаторы и воздействие на окружающую среду. Распознавание изображений позволяет автоматически идентифицировать двери, окна, стены на чертежах и оценивать их стоимость, что раньше делалось вручную с высоким риском ошибок.

Примером служит сотрудничество Autodesk с Daisy AI Inc.: система на основе ИИ автоматизирует оптимизацию планировки деревянных перекрытий, а прототип Kratos оптимизирует концептуальное проектирование зданий из массивной древесины. Кроме того, 3D-модели на основе ИИ анализируют не только геометрию, но и планы инженерных систем (отопление, вентиляция, электрика, сантехника), а также последовательность работ, что повышает качество и экономит средства.

1.2. Строительство: безопасность, контроль качества и производительность.

Повышение безопасности. ИИ прогнозирует риски подобно метеослужбам: алгоритмы отслеживают состояние оборудования, выявляя опасные условия. Компьютерное зрение анализирует видео с камер — например, фиксирует отсутствие защитных касок или небезопасную эксплуатацию машин. Датчики и камеры на дронах сравнивают чертежи с аэрофотосъёмкой, находя несоответствия.

Контроль качества. Ещё до начала строительства ИИ анализирует проекты и BIM-модели, выявляя потенциальные проблемы и снижая вероятность переделок. На площадке роботы с ИИ выполняют кирпичную кладку и сварку с точностью, недостижимой для человека при монотонной работе.

Производительность и предиктивное обслуживание. Интеллектуальные датчики на бульдозерах, кранах и другом оборудовании передают данные в реальном времени. Система прогнозирует потребность в ремонте (например, по вибрации или перегреву) задолго до стандартных графиков обслуживания. Самый высокий в мире небоскрёб Бурдж-Халифа использует ИИ для мониторинга 57 лифтов, 8 эскалаторов и другого оборудования на 163 этажах.

1.3. Обслуживание в процессе эксплуатации.

Здесь ИИ переходит в фазу управления интеллектуальными зданиями. Подключение тысяч устройств (датчики HVAC, счётчики энергии, камеры, пожарные панели) требует упрощения и масштабирования. Практика показывает, что для большинства задач не нужен генеративный или агентный ИИ — достаточно гибридного подхода:

1.3.1. Конфигурация на основе файлов для поддержки структурированных данных из систем управления зданиями (BMS).

1.3.2. Автоматизация на основе заранее установленных правил (опустить жалюзи при температуре выше 26°C).

1.3.3. Машинное обучение для обнаружения дефектов.

На примере платформы Siemens Building X рассмотрим три реалистичных случая.

Случай 1 (мониторинг энергопотребления). Менеджер Мария управляет тремя коммерческими зданиями. Система прогнозирует потребление энергии на основе исторических данных, сравнивает с бюджетом и оповещает о риске превышения. При аномальной нагрузке на чиллер приходит сигнал — Мария принимает меры до выхода оборудования из строя.

Случай 2 (управление несколькими зданиями). Оператор Стивен ранее работал с разрозненными BMS. Внедрение облачного Building X Operations Manager дало централизованную платформу с обнаружением неисправностей на основе правил. Время реакции снизилось, а техническое обслуживание стало проводиться по фактическому состоянию, а не по календарю.

Случай 3 (комфорт в помещении). Приложение Building X Comfort AI анализирует данные HVAC, прогноз погоды и тенденции присутствия людей, автоматически корректируя заданные значения температуры. В коммерческих зданиях это дало экономию энергии до 6,5% в месяц без ущерба для комфорта.

2. Человеческий фактор: почему ИИ не заменяет строителей.

Несмотря на технические возможности, существует обеспокоенность по поводу влияния ИИ на занятость. Отчёт Autodesk 2025 показывает, что 47% руководителей AECO считают ИИ дестабилизирующим фактором. Однако практика опровергает страх полной автоматизации.

Во-первых, ИИ берёт на себя монотонные и повторяющиеся задачи — классификацию чертежей, фильтрацию спама в почте, расчёт смет. Это высвобождает время инженеров и прорабов для креативного решения проблем и общения с заказчиками.

Во-вторых, человеческий опыт остаётся критическим: любые сметы, сгенерированные ИИ, должны перепроверяться. Технология очень хороша, но не идеальна. Например, ИИ может не иметь полного контекста о местных условиях или скрытых дефектах проекта.

В-третьих, отрасль сталкивается с нехваткой квалифицированных кадров. Роботы и интеллектуальные помощники не заменяют каменщиков или сварщиков, а дополняют их, позволяя тем же числом рабочих выполнять больший объём. Как отметил бывший старший вице-президент Autodesk Джим Линч: «Через 10 лет нам по-прежнему понадобятся проектные группы для чертежей дверей, стен и окон. ИИ лишь позволит им быстрее вносить корректировки».

3. Вызовы и барьеры внедрения.

Основные препятствия для масштабного использования ИИ в строительстве:

3.1. Разрозненность данных. Многие технологические платформы плохо интегрированы, что приводит к «островам» информации. Решение — переход на единую среду данных (например, Oracle Smart Construction Platform).

3.2. Соппротивление изменениям. Рабочие и менеджеры опасаются, что ИИ сделает их навыки ненужными. Необходимы программы повышения квалификации и демонстрация быстрых выигрышей (экономия 5 минут на простой задаче через чат-бота).

3.3. Стоимость внедрения. Робототехника и системы компьютерного зрения требуют значительных начальных инвестиций. Однако по мере роста рынка затраты стабилизируются, а возврат инвестиций обеспечивается за счёт снижения простоев и аварий.

4. Перспективы развития.

В ближайшие 5–7 лет ожидается интеграция ИИ непосредственно в BIM-решения, что позволит создавать самообучающиеся цифровые двойники зданий. Такие двойники будут не только отображать текущее состояние, но и прогнозировать износ конструкций, рекомендовать моменты капитального ремонта и оптимизировать энергопотребление в реальном времени.

В области робототехники появятся самоуправляемые экскаваторы и бульдозеры, которые готовят площадку без участия человека (рабочий при этом переключается на контроль и тонкую настройку). Кроме того, генеративный ИИ начнёт использоваться для создания множества вариантов архитектурных решений по заданным критериям стоимости, прочности и углеродного следа.

Важно, что устойчивое развитие становится драйвером ИИ-инноваций. На строительный сектор приходится более пятой части мировых выбросов CO₂. ИИ помогает сокращать отходы материалов (3D-печать стен и перекрытий), оптимизировать бетонные смеси с помощью анализа данных с датчиков в существующих конструкциях и использовать переработанный кирпич, при производстве которого выделяется на 90% меньше углекислого газа.

Искусственный интеллект уже сегодня трансформирует строительную отрасль — от предпроектной аналитики до многолетней эксплуатации зданий. Ключевые преимущества включают повышение безопасности (прогнозирование рисков, компьютерное зрение), снижение затрат (точные сметы и мониторинг), улучшение контроля качества и продление срока службы оборудования. При этом ИИ не заменяет человека, а автоматизирует рутинные задачи, позволяя

специалистам сосредоточиться на творческих и управленческих аспектах.

Примеры из реальной практики (Burj Khalifa, WeWork, Siemens Building X, Daisy AI) подтверждают, что гибридный подход — сочетание машинного обучения, правил и семантического обогащения — даёт наилучшие результаты с точки зрения масштабируемости и экономической эффективности. Основными барьерами остаются разрозненность данных и сопротивление персонала, однако по мере стандартизации платформ и появления успешных кейсов эти препятствия будут преодолены.

Для строительных компаний, стремящихся сохранить конкурентоспособность, инвестиции в ИИ уже перестали быть опцией — они стали необходимостью. Будущее отрасли — не в замене людей машинами, а в разумном симбиозе человеческого опыта и вычислительной мощности искусственного интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. NBI: официальный сайт - AI for Buildings: Hype, Dream, or Reality? URL: <https://newbuildings.org> (дата обращения: 20.04.2026). - Текст: электронный
2. Siemens: официальный сайт. - What AI really means for Smart Building Management URL: <https://blog.siemens.com> (дата обращения: 20.04.2026). - Текст: электронный
3. Digital BAU: официальный сайт. - Game changer AI: building for the future URL: <https://digital-bau.com> (дата обращения: 21.04.2026). - Текст: электронный
4. Microsoft: официальный сайт. - AI in Construction: Tools and use cases URL: <https://www.microsoft.com> (дата обращения: 21.04.2026). - Текст: электронный
5. Oracle: официальный сайт. - AI in Construction: Benefits and Opportunities URL: <https://www.oracle.com> (дата обращения: 19.04.2026). - Текст: электронный
6. Сулейманова Л.А., Богачева М.А. Повышение эксплуатационных свойств ячеистого бетона путем микроармирования полипропиленовой фиброй // В книге: Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства. Сборник тезисов докладов VIII международной научно-технической конференции. Алчевск, 2024. С. 387-390.

Ефанов А.Д., Кизилов О.М., Седов С.С.

Научный руководитель: Заева О.Г., ст. преп.

*Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В настоящее время существует много авиационных симуляторов, которые позволяют осуществить свою мечту и попробовать себя в роли пилота, не выходя из дома. Такие симуляторы подразделяются на упрощённые и реалистичные.

Упрощённые симуляторы подразумевают облегчённое управление транспортом, пользователю не нужно изучать инструкцию эксплуатации выбранной моделью авиационного аппарата и у него есть возможность частично взаимодействовать с бортовыми системами. Как правило для этого хватает клавиатуры и мышки или джойстика.

Реалистичные симуляторы подразумевают управление транспортом близкое к реалистичному, то есть необходимо изучать инструкцию эксплуатации выбранной моделью авиационного аппарата, взаимодействовать со всеми доступными функциями бортовой системы, выполнять список правил безопасности, который соблюдает, каждый настоящий лётчик.

На практике многие пользователи реалистичных симуляторов сталкиваются с тем что не удобно взаимодействовать с бортовыми системами летального аппарата в экстренных ситуациях, где необходимо быстро отреагировать на возникшую ситуацию, например, выключить один из двигателей в случае его неисправности, выпуск тормозного парашюта после приземления во время пробега, если самолёт им оборудован, настройка работы радара для поиска и анализа неопознанных объектов, сброс подвесных компонентов для комфортного выполнения посадки техники.

На рынке авиационных контроллеров представлено несколько ключевых производителей, каждый из которых имеет свою специализацию. Литовская компания Virpil разрабатывает модульные решения с возможностью гибкой настройки через собственное ПО, позволяющее эмулировать до 128 виртуальных кнопок, однако начинающим пользователям может быть сложно освоить программное обеспечение. Американская Thrustmaster выпускает лицензированные копии устройств от реальных самолетов (F-16, Boeing), которые

работают как стандартные USB HID без дополнительного ПО, но имеют ограниченное количество органов управления [1-3]. Швейцарская Logitech предлагает периферию для гражданской авиации, также работающую через стандартные драйверы Windows [4-5]. Китайские компании Winwing и VKB Sim специализируются на точных копиях панелей военных самолетов (F-18, F-16) с расширенными возможностями настройки. Немецкий бренд Elgato выпускает планшеты для управления бортовыми системами, но с ограниченным набором физических элементов [6-7].

Сравнительный анализ устройств показывает, что все производители предлагают различные комбинации кнопок, энкодеров и тумблеров. Основные различия заключаются в наличии собственного программного обеспечения, поддержке стандарта USB HID и количестве физических элементов управления. Выбор конкретного устройства зависит от потребностей пользователя: для начинающих пилотов подойдут решения с простым подключением (Thrustmaster, Logitech), тогда как опытные пользователи оценят гибкость настройки Virpil или аутентичность копий Winwing и VKB Sim.

На основании проведенных исследований и недостатков существующих конструкций, разработаем универсальную панель, соответствующую всем требованиям.

На корпусе было сделано посадочное место под печатную плату контроллера, к которому будет подключаться вся электроника. Чтобы была возможность подключать универсальную панель управления к компьютеру, было сделано отверстие в который можно вставить USB Type C шнур и подключить провода для подключения блока ручки управления двигателем.

Чтобы проверить правильность расположения всех посадочных мест, необходимо было сделать 3D модель кнопки, тумблера, энкодера, переменного резистора и печатной платы, потом применить в сборке.

На рисунке 1 представлена 3D сборка универсальной панели управления. Так как посадочные места совпали с универсальной панелью управления, то следующим шагом было ручка управления двигателем, она должна быть спроектирована очень компактным, с возможностью управления оборотами левого и правого двигателя по отдельности. Также многие пользователи желают, чтобы рядом располагался стик джойстика для триммирования летательного аппарата. У аналогов тоже присутствует стик джойстика, а также набор кнопок и энкодеров. Но так как присутствуют ограничения на количество подключаемых элементов управления, было принято

решение оставить один стик джойстика, который можно настроить в дальнейшем, как мини джойстик.

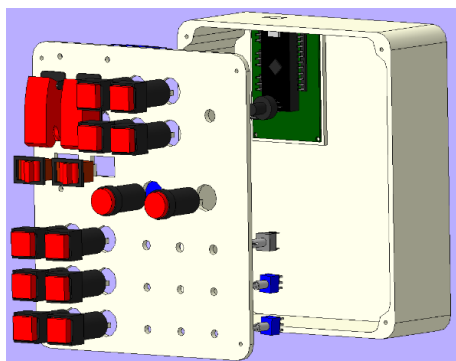


Рис. 1. 3D сборка универсальной панели управления

Сначала был начерчен корпус, на котором будет располагаться ручка левого и правого двигателя. Ручка будет закреплена на переменном резисторе для отслеживания положения и на общем валу. На крышке корпуса были начерчены прямоугольные отверстия для свободного движения ручки вперёд-назад. Чтобы закрепить стик джойстика, было начерчено посадочное место. На рисунке 2 представлена 3D сборка платформы ручки управления двигателем.

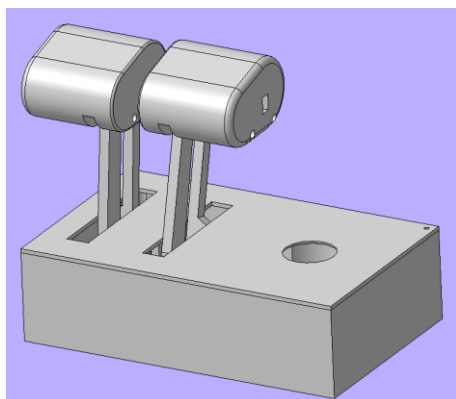


Рис. 2. Сборка платформы ручки управления двигателем

Посадочное место под джойстик располагается сбоку ручки управления двигателем, так как это необходимо для комфортного

перемещения кисти руки человека от одной позиции к другой, чтобы ничего не мешало.

Так как все управляющие элементы универсальной панели управления закреплены на крышке корпуса и нет возможности закрепить контроллер, то необходимо подготовить минимум проводников для соединения контроллера с крышкой управляющих компонентов. Все кнопки и тумблеры будут подключены к двум мультиплексорам. А мультиплексоры будут параллельно подключены друг к другу, для экономии портов ввода-вывода микроконтроллера.

Чтобы подключить все управляющие элементы будет сделана печатная плата, на которой будет располагаться микроконтроллер и разъемы для подключения электронных компонентов, такие как энкодеры, мультиплексор и данные полученные от контроллера ручки управления двигателем. На рисунке 3 показана электрическая схема принципиальная печатной платы.

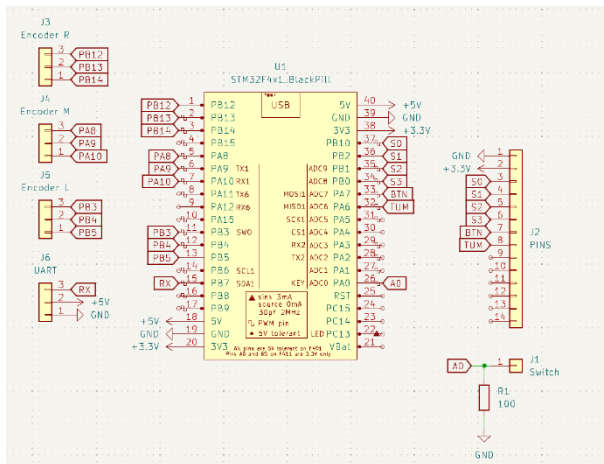


Рис. 3. Электрическая схема принципиальная печатной платы

На крышке корпуса закреплён галетный переключатель, чтобы сэкономить порты ввода-вывода, будет использоваться делитель напряжения для того, чтобы при определённом положении переключателя менялось напряжение на выходе.

Универсальная учебная панель управления для бортовых систем летательных аппаратов будет всегда актуальна в нашей стране, так как авиационных училищ в России очень мало, которые могли предоставить возможность испытать полученные знания на настоящем летальном аппарате, а виртуально лётчики могут быстро получить огромный опыт, который поможет сэкономить время и деньги на

получение лицензии пилота. Универсальная панель управления идеально подходит для изучения инструкций эксплуатации военных реактивных самолётов с двумя двигателями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О проекте VIRPIL Controls [Электронный ресурс]. – URL: https://virpil-controls.by_ (дата обращения: 04.04.2026).
2. Thrustmaster [Электронный ресурс]. – URL: <https://en.wikipedia.org> (дата обращения: 04.09.2026).
3. Logitech [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 04.04.2025).
4. Winwing [Электронный ресурс]. – URL: <https://winwingsim.com> (дата обращения: 04.04.2026).
5. VKB sim [Электронный ресурс]. – URL: <https://shop.vkb> (дата обращения: 04.09.2025).
6. Elgato [Электронный ресурс]. – URL: <https://en.wikipedia.org> (дата обращения: 04.09.2026).
7. Human Interface Devices Specifications and Tools [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usb.org> (дата обращения: 12.04.2026).

УДК 691.54

Закирова Ю.С., Маслов Н.А., Читаев К.М.

Научный руководитель: Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА СПОСОБНОСТЬ КАМНЯ К САМОВОССТАНОВЛЕНИЮ

Как известно, традиционные цементные бетоны, в определённой степени, изначально обладают способностью залечивать возникающие в процессе эксплуатации микротрещины [1–3]. Это происходит за счёт того, что при их изготовлении расходуется большое количество цемента, частицы которого не имеют возможности полностью прогидратироваться, если имеют размер более 20–25 мкм [4]. Возникающие в ходе эксплуатации трещины, вызываемые нагрузками, термическими и влажностными перепадами, коррозионными процессами и морозными воздействиями, обнажают сохранившееся клинкерное вещество, открывают доступ к нему воды, что запускает локальный процесс твердения и заполнения трещины

кристаллогидратами. Кроме клинкерного вещества аналогичные функции могут выполнять частицы шлака и других добавок, способных к гидратационному твердению.

Другим механизмом является миграция в трещину из цементного камня свободного гидроксида кальция и его кристаллизация в ней с последующей карбонизацией. Описанные процессы являются примерами аутогенного восстановления. Причём первый из описанных механизмов потенциально для трещин с малой шириной раскрытия способен восстановить прочность камня, а второй – преимущественно законсервировать трещину от взаимодействия с окружающей средой.

Однако, современные тенденции сокращения расхода цемента в бетонах [5–8] за счёт повышения тонкости его помола и перехода к высокоэффективным самоуплотняющимся системам (high-performance concrete (HPC) с крайне низким водоцементным отношением, большим количеством наполнителя (каменной муки) и пуццолановыми компонентами, ставят под угрозу работоспособность и эффективность описанных механизмов самовосстановления. В этой связи актуальным вопросом является оценка степени влияния тонкости помола клинкерной составляющей в составе самоуплотняющегося цементного клея - основы самоуплотняющихся бетонов.

Для этого с применением шаровой вибрационной мельницы было проведено измельчение портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н (Верхнебаканский ЦЗ) до удельной поверхности 370 и 405 м²/кг (составы 2 и 3), при исходной заводской тонкости помола 340 м²/кг (состав 1). На основе цемента с разной тонкостью помола, наполнителя (МП) - молотого кварцевого песка ($S_{уд}$ 270 м²/кг), активной минеральной добавки МБ 0-50С (ООО Предприятие Мастер Бетон), были изготовлены образцы-кубики с ребром 20 мм из самоуплотняющегося цементного клея следующего состава (% масс): Ц=27,9; МП=53; МБ=2,1; В=16,6; СП=0,5. В качестве пластификатора применялась добавка MC Bauchemie PF 3100, водовязущее (В/В) отношение смеси составляло 0,2.

На первом этапе, с применением метода ротационной вискозиметрии, было оценено среднее значение вязкости полученных составов клея при скоростях вращения шпинделя 10, 20 и 30 об/мин, результаты показаны на рис. 1.

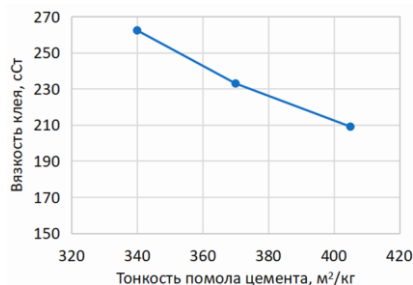


Рис. 1. Влияние тонкости помола цемента на вязкость самоуплотняющегося цементного клея

Как видно из графика, все исследуемые составы имеют высокую текучесть (визуально примерно соответствуют консистенции жидкого мёда), а увеличение тонкости помола цемента, в рассмотренном диапазоне, вероятно за счёт улучшения грансостава, способствует снижению вязкости, что является благоприятным для самоуплотняющихся бетонов.

Полученные образцы-кубики всех исследуемых составов были поделены на две группы, первая из которых выполняла функцию контрольной и позволяла отследить и учесть процесс естественного нарастания прочности в ходе твердения. Образцы второй группы были подвергнуты процедуре инициирования трещин разработанным ранее способом, предполагающим осуществление трёх циклов резких термических перепадов за счёт разогрева в кипящей воде и охлаждения в воде комнатной температуры. Данная процедура позволяет достаточно стабильно получать множественные микротрещины, вызывающие снижение прочности, и на наш взгляд достаточно достоверно имитирует результат действия естественных природных воздействий. Прочность образцов оценивалась как сразу после инициирования трещин, так и после восстановительного твердения в течение 28 сут в воздушно-влажной среде. Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1. Изменение прочности цементного камня с инициированными трещинами на разных этапах твердения

№ со ст	Суд Ц	Прочность цементного камня на сжатие, МПа					
		После 28 сут. первичного твердения		После 28 сут. восст. твердения		После 56 сут. восст. твердения	
		Без трещин	С трещ.	Без трещин	С трещ.	Без трещин	С трещ.
1	350	86,5	81,5	92,9	93,5	97,2	106,3
2	370	89,1	83,4	97,4	92,9	104	105,6
3	405	85,1	80	92,5	88,7	102,1	101

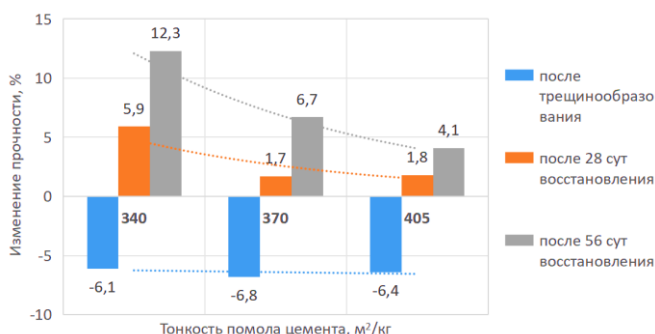


Рис. 2. Влияние тонкости помола цемента на способность к самовосстановлению

Как видно из полученных результатов увеличение тонкости помола цемента, в рассматриваемой системе, не приводит к ощутимому увеличению прочности в марочном и более поздних сроках. Это, вероятно связано с тем, что получаемый камень становится слишком плотным для проникновения вглубь него воды, необходимой для поддержания гидратации на поздних сроках. Косвенным подтверждением этому может служить тот факт, что прирост прочности после 56 суток твердения максимален для образцов на товарном цементе, подвергнутых процессу инициации трещин, которые открывают доступ воде в глубину материала. Не смотря на отсутствие положительного влияния помола на марочную прочность, результаты других проведённых экспериментов, дают основания предполагать положительное влияние данного фактора на прочность в ранние сроки, что позволяет сократить энергозатраты на тепловую обработку и повысить производительность бетонных работ.

На рисунке 2 показаны относительные изменения прочности системы. Как видно, снижение прочности в результате инициирования трещин для всех составов образцов составило от 6,1 до 6,8%. После 28 сут восстановительного твердения максимальный прирост прочности 5,9% показали образцы состава 1 на товарном цементе, причём баланс изменения их прочности (сумма снижения после инициирования трещин и прироста после восстановительного твердения) оказывается близким к нулю, т.е. они смогли восстановить полученные повреждения, а после 56 суток восстановительного твердения баланс становится положительным +6%. Это, как уже отчасти объяснялось выше, может являться совокупным следствием большей доли крупных частиц, не подверженных полной гидратации, и наличия микротрещин, обеспечивающих транспорт воды как в повреждённые участки, так во внутренний объём образцов в целом.

С повышением тонкости помола цемента до 370 м²/кг, после 28 суток восстановительного твердения баланс прочности оказывается отрицательным (ок. -5%) и только к 56 суткам становится нулевым, т.е. материал восстановил полученные повреждения. При дальнейшем увеличении тонкости помола цемента до 405 м²/кг баланс прочности, т.е. способность к аутогенному восстановлению, оказывается отрицательной во всём рассмотренном временном интервале.

Таким образом, повышение тонкости помола портландцемента при получении цементного камня для эффективных самоуплотняющихся бетонов, позволило на 20% снизить вязкость смеси, не оказало явного положительного влияния на прочность камня и способствовало снижению способности к самовосстановлению, оцениваемому по восстановлению прочности, потерянной после процедуры инициирования трещин в образцах. Граничной тонкостью помола цемента в исследуемой системе, при которой сохраняется способность материала к аутогенному восстановлению, является 370 м²/кг (по методу воздухопроницаемости). Вероятно, при более тонком помоле ниже некоего критического уровня снижается количество крупных цементных частиц, в которых сохраняется непрогидратированное клинкерное вещество необходимое для залечивания трещин. Также установлено, что в системе с наименее тонкомолотым цементом, наличие микротрещин, несмотря на первоначальный сброс прочности, приводит к её повышению выше начального уровня в поздние сроки дополнительного твердения в благоприятных условиях. Вероятной причиной данного явления служит улучшение доступа воды во внутреннее пространство плотного цементного камня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иноземцев, С.С. Отечественный опыт исследования в области строительных материалов с функцией самовосстановления / С.С. Иноземцев, Т.Ч. До, Е.В. Королев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 1. – С. 8–22. – DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-8-22
2. Применение доменного гранулированного шлака для самовосстанавливающихся биобетонов // Т.Н. Черных, К.А. Горбачевских, М.В. Комелькова [и др.] // Строительные материалы. – 2024. – № 1-2. – С. 42–48. – DOI: 10.31659/0585-430X-2024-821-1-2-42-48.
3. Self-healing concrete incorporating mineral additives and encapsulated lightweight aggregates: Preparation and application / X. Wang, S. Chen, Z. Yang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 301. – 124119. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124119
4. Brouwers, H.J.H. The work of Powers and Brownard revisited: Part 2 / H.J.H. Brouwers // Cement and Concrete Research. – Vol. 35 (10). – 2005. – Pp. 1922–1936. – DOI: 10.1016/j.cemconres.2005.04.009
5. Hollow Concrete Block Based on High-Strength Concrete as a Tool for Reducing the Carbon Footprint in Construction / M. Elistratkin, A. Salnikova, N. Alfimova // Journal of Composites Science. – 2024. – 8(9). – 358. – DOI: 10.3390/jcs8090358
6. Прогнозирование прочности цемента с модификаторами для самоуплотняющихся бетонов / В.В. Нелюбова, С.А. Усиков, Д.Д. Нецвет [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 12. – С. 8–17. – DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-12-8-17.
7. Композиционные вяжущие и самоуплотняющиеся фибробетоны для защитных сооружений / Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, В.С. Лесовик [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 7. – С. 77–85. – DOI 10.12737/article_5b4f02bf93df52.30110991.
8. Самоуплотнение как эффективный способ снижения расхода цемента в бетонах рядовых классов / М.Ю. Елистраткин, В.С. Лесовик, А.М. Карпенко, Н.И. Алфимова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 10(802). – С. 36–48. – DOI: 10.32683/0536-1052-2025-802-10-36-48

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

Современная градостроительная политика Российской Федерации, равно как и большинства развитых стран мира, демонстрирует устойчивый вектор на формирование инклюзивной городской среды, подразумевающей равный доступ к городским пространствам для всех категорий граждан. Определяющим импульсом в этом направлении стала ратификация Конвенции ООН о правах инвалидов, а также последовательная реализация государственной программы «Доступная среда» [1, 2]. Данные нормативно-правовые акты инициировали фундаментальный пересмотр традиционных подходов к архитектурно-градостроительному проектированию, смещая фокус с узких потребностей отдельных групп на принципы всеобщей доступности. Однако, если задача создания безбарьерной среды на вновь осваиваемых, «чистых» территориях решается относительно просто за счет внедрения актуальных строительных норм и современных материалов, то адаптация исторически сложившихся районов, и особенно жилой застройки, сопряжена с комплексом трудноразрешимых противоречий, лежащих на стыке социальной справедливости и сохранения культурного наследия [3-7].

Исторические центры городов представляют собой уникальную среду: бесценное архитектурное наследие, но при этом активно используемая жилая зона с высокой плотностью населения, включая маломобильные группы населения (МГН). Их планировочная структура, сложившаяся в доиндустриальный период, изначально не учитывала потребности МГН: узкие проезды, перепады рельефа, отсутствие лифтов, ступенчатые входы и высокие цоколи создают непреодолимые барьеры, фактически исключая часть граждан из полноценной жизни. Ситуация усугубляется охранным статусом объектов культурного наследия (ОКН), который по федеральному законодательству запрещает типовые решения для массового строительства. Цель работы — разработка научно обоснованного практического комплекса мероприятий по формированию доступной

для МГН среды в исторической жилой застройке с приоритетом сохранения ОКН и обеспечением непрерывных безбарьерных пешеходных коммуникаций [8, 9].

Проведенный анализ действующей нормативно-правовой базы выявил острый институциональный конфликт, препятствующий реализации принципов инклюзии в историческом центре. С одной стороны, актуализированный СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» предписывает жесткие, однозначные параметры: максимальный уклон пандуса не более 5 %, минимальная ширина дверных проемов не менее 0,9 метра, наличие лифтов и т.д. С другой стороны, Федеральный закон № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия» в статье 44 устанавливает принцип приоритета сохранения подлинности объекта и фактически запрещает любые изменения внешнего облика памятника или его конструктивных элементов без специального согласования, что делает установку стандартных железобетонных пандусов или пристройку лифтовых шахт к фасадам исторических зданий абсолютно недопустимой [9, 10].

На градостроительном уровне: формирование безбарьерных пешеходных маршрутов, локальное расширение тротуаров, понижение бордюров, ровные нескользкие покрытия, скамьи с подлокотниками. На уровне входной группы (дифференцированный подход): для ОКН – 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: малогабаритные подъемники в домах 4-6 этажей, двухуровневые поручни, тактильные таблички, кнопки вызова на высоте 0,4-1,1 м, а при невозможности адаптации – служба ситуационной помощи. Информационное обеспечение: единая тактильно-визуальная навигация, мнемосхемы, дублирование информации в звуковом формате.

Реализация разработанного комплекса мероприятий по созданию доступной среды для маломобильных групп населения в исторической жилой застройке требует выстраивания четкого организационно-управленческого механизма, включающего четыре взаимосвязанных элемента: паспортизацию доступности, финансово обеспеченную «дорожную карту», обязательное согласование с уполномоченными органами и общественными организациями инвалидов, а также систему мониторинга с обратной связью от самих пользователей.

Первым этапом является паспортизация доступности – процедура комплексного обследования каждого здания, элемента благоустройства и участка пешеходной сети с целью выявления барьеров, оценки их характера и степени преодолемости. Результатом становится паспорт доступности – официальный документ, содержащий характеристику объекта, фотофиксацию барьеров, заключение об уровне доступности и перечень необходимых мероприятий по адаптации. Паспортизация должна проводиться по единой методике с участием представителей общественных организаций инвалидов, выступающих независимыми экспертами-пользователями. Сводные данные формируют реестр доступности, который интегрируется в городскую геоинформационную систему.

Вторым элементом является разработка «дорожной карты» – поэтапного плана реализации мероприятий с указанием сроков, ответственных исполнителей и источников финансирования. Финансирование носит многокомпонентный характер. Бюджетные средства (федеральные, региональные, муниципальные) направляются на адаптацию общественных пространств – тротуаров, переходов, парковок, дворовых территорий. Средства собственников жилых и нежилых помещений используются для работ внутри подъездов, лестничных клеток и входных групп, являющихся общей долевой собственностью. Для стимулирования собственников необходимы субсидии, налоговые льготы и включение работ по адаптации в программы капитального ремонта. Механизмы государственно-частного партнерства позволяют привлекать частных инвесторов, которые принимают обязательства по адаптации объектов в обмен на льготы по аренде или земельному налогу. Наконец, краудфандинг и спонсорская помощь могут использоваться как вспомогательные инструменты для реализации локальных, общественно значимых проектов.

Третьим элементом является согласование проектных решений с двумя ключевыми группами стейкхолдеров. С органами охраны объектов культурного наследия согласовываются любые вмешательства в облик и конструкции памятников архитектуры. Это требует разработки научно-проектной документации, обосновывающей обратимость и минимальное воздействие предлагаемых решений (например, использование прозрачных материалов, мобильных аппарелей). С общественными организациями инвалидов согласование необходимо на всех этапах – от выбора приоритетных объектов до приемки выполненных работ. Представители МГН выступают не формальными консультантами, а полноправными участниками

проектных и приемочных комиссий, поскольку только они могут дать объективную оценку того, устраняет ли предложенное решение реальный барьер или создает новый.

Четвертым элементом является система мониторинга с обратной связью от маломобильных пользователей. После реализации мероприятий должен быть организован регулярный сбор информации о качестве и удобстве созданной среды [11]. Инструментами могут служить: анкетирование жителей из числа МГН; «горячая линия» или чат-бот для сообщения о возникших проблемах; регулярные рейды с участием общественных инспекторов; а также использование мобильных приложений с функцией геолокационной оценки доступности. Выявленные недостатки и предложения должны фиксироваться и учитываться при корректировке последующих этапов «дорожной карты», что превращает процесс адаптации из разового мероприятия в непрерывный, итеративный процесс, ориентированный на реальные потребности пользователей.

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 (мобильные аппарели, наклонные платформы) 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. Конвенция ООН о правах инвалидов (принята резолюцией 61/106 Генеральной Ассамблеи ООН от 13.12.2006) // Собрание законодательства РФ. – 2013. – № 6. – Ст. 468.
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. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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. – Том 2. – С. 204-208.

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. – Том 1. – С. 372-374.

8. Федеральный закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» (ред. от 28.04.2023).

9. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (ред. от 24.07.2023).

10. СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. – М.: Стандартинформ, 2020. – 78 с.

11. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». – М.: Стандартинформ, 2014. – 59 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОМОНТЕРОВ КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ

Электроэнергия является основой жизнедеятельности современного общества. От ее доступности и стабильности зависят экономика страны, развитие технологий и базовые потребности человека. Однако за бесперебойной работой сложнейших энергосистем, линий электропередач и высокотехнологичных подстанций всегда стоит человек. Следовательно, развитие электроэнергетики обусловлено человеческим капиталом: уровнем профессиональной подготовки, психологической устойчивостью и готовностью персонала к освоению новых компетенций. Чем выше квалификация работника, тем ниже риск отказа оборудования [1]. Между тем, ошибка персонала при эксплуатации объектов электроэнергетики является одной из самых распространенных причин нарушения работы или полного выхода из строя оборудования. Согласно статистическим данным, ежегодно от 10 до 20% технологических нарушений на предприятиях электроэнергетической системы связаны с ошибочными действиями персонала [2]. Указанные нарушения могут приводить как к локальным сбоям электроснабжения, так и к полной дестабилизации работы электростанций, а также к возникновению чрезвычайных ситуаций, включая возгорания и взрывы. В этой связи приоритетным направлением становится внедрение инновационных методов обучения производственного персонала, прежде всего электромонтеров.

Как отмечают специалисты в области промышленной автоматизации, к числу таких инструментов относятся технологии виртуальной и дополненной реальности, принадлежащие к классу иммерсивных систем, обеспечивающих взаимодействие пользователя с моделируемой средой в режиме реального времени. Согласно аналитическим обзорам, данные технологии активно внедряются в энергетический сектор, способствуя повышению точности проектирования, эффективности обучения и оптимизации управления оборудованием. В частности, исследователи выделяют виртуальные тренажеры, которые, как подчеркивается в отраслевых источниках, имитируют штатные и аварийные режимы работы энергообъектов,

включая взаимодействие с высоковольтным оборудованием [2], что позволяет персоналу приобретать практические навыки без риска для жизни и без нарушения функционирования реальных энергосистем.

Эффективность технологий виртуальной реальности подтверждается опытом отечественных энергопредприятий. Например, на Нововоронежской АЭС функционирует полномасштабный тренажер (ПМТ) для энергоблока №6 с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР-1200. Он включает в себя точную копию блочного пульта управления и вычислительный комплекс с математической моделью энергоблока-прототипа. Данный тренажер используется для подготовки определенных категорий персонала АЭС и отработки технологических процессов эксплуатации энергоблока. В 2024 году специалисты АО «ВНИИАЭС» (Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций) модернизировали тренажер-симулятор, применив комплекс «Виртуально-цифровая АЭС с ВВЭР». Благодаря этому появилась возможность моделировать тяжелые нештатные аварии и отрабатывать совместные согласованные действия оперативного персонала станции и специалистов Кризисного центра в условиях, которые максимально приближены к реальным [3].

Примером из смежной отрасли (нефтегазовой энергетики) служит подстанция «Герасимовская» компании «Роснефть». Согласно корпоративным исследованиям, VR-модель данной подстанции позволяет отрабатывать сценарии оперативных переключений. Высокая степень детализации модели и возможность свободного перемещения обучаемого в виртуальном пространстве способствуют повышению качества усвоения учебного материала [4].

Одним из примеров внедрения технологий виртуальной реальности в отечественной энергетике служит опыт концерна «Росэнергоатом» (Электроэнергетический дивизион Госкорпорации «Росатом»). На Ленинградской АЭС-2 внедрен VR-тренажер, который предназначен для обучения персонала электроцеха эксплуатации комплектного распределительного устройства КРУ-10 кВ. Он представляет собой цифровую копию двух основных производственных зон АЭС, включающую более 500 моделей оборудования, инструментов и помещений. Погружение в цифровую копию рабочего места способствует доведению производственных операций до автоматизма, что повышает осознанность действий сотрудников при работе на реальном оборудовании и, как следствие, снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций [5].

Таким образом, VR-тренажеры на атомных электростанциях целесообразно рассматривать в качестве стратегического элемента

системы обеспечения надежности и промышленной безопасности отрасли, а не как вспомогательный инструмент обучения.

Сходные данные получены в практике компании «Россети Сибирь». Исследования показали, что использование шлемов дополненной реальности (гарнитур, накладывающих цифровую информацию на поле зрения специалиста) при обходах подстанций сокращает время выполнения операций на 35%, а число ошибок при оформлении документации снижается в три раза. Ученые связывают данный эффект с контекстной визуализацией параметров оборудования непосредственно в поле зрения специалиста [6].

Наряду с корпоративными разработками, значительный интерес представляет опыт академических учреждений. В частности, учеными Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) разработан 3D-тренажер на платформе Unity, предназначенный для обучения персонала работе на электрических подстанциях. Сценарии тренажера охватывают три категории операций: наиболее распространенные в практической деятельности, требующие проверки знаний техники безопасности, а также потенциально ведущие к аварийным ситуациям. В виртуальной среде пользователь выбирает инструменты и средства защиты, после чего приступает к выполнению задачи (например, выводу трансформатора напряжения в ремонт). Программа контролирует последовательность действий, а в случае ошибки указывает причины неудачного выполнения. Аналогично реализованы сценарии переключения, подключения нового объекта, моделирования короткого замыкания и возгорания [7].

Пилотное внедрение тренажера в производственный процесс показало снижение числа аварий с участием человека на 3%. Авторы разработки отмечают, что для корректного внедрения подобных решений необходим анализ аварий, вызванных человеческим фактором, с целью выделения инцидентов, предотвратимых посредством тренажерной подготовки. При этом некоторые аварии могут быть обусловлены не недостатком знаний, а усталостью, стрессом или организационными факторами, что ограничивает роль тренажеров как универсального решения. В настоящее время тренажер может использоваться в учебных целях на предприятиях и в организациях образования, а также для аттестации персонала по электробезопасности [7].

Таким образом, в ходе проведенного исследования были рассмотрены технологии виртуальной реальности применительно к задачам обучения персонала на электротехнических объектах.

Целесообразность внедрения 3D-тренажеров определяется анализом реальных аварий и прогнозом их предотвратимости посредством тренажерной подготовки. Полученные результаты подтверждают перспективность применения рассматриваемых технологий для подготовки кадров в электроэнергетике. Их внедрение в учебные программы минимизирует влияние человеческого фактора, повышает эффективность обучения, ускоряет оперативные действия и сокращает число ошибок при обслуживании оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муравьева, А. А. Обучение на рабочем месте как основной тренд в международной практике профессионального образования и обучения / А. А. Муравьева, О. Н. Олейникова // Профессиональное образование и рынок труда. – 2022. – № 2. – С. 57–74.
2. Саликова, Н. С. Статистика аварий и отказов в электрических сетях Егиндыкольской районной электросети / Н. С. Саликова, О. В. Савин // Наука и реальность. – 2020. – № 3. – С. 48–51.
3. На Нововоронежской АЭС модернизирован полномасштабный тренажёр энергоблока с ВВЭР-1200 [Электронный ресурс] // Интернет-портал сообщества ТЭК : сайт. – 2024. – 27 ноября. – URL: <https://energyland.info> (дата обращения: 10.04.2026).
4. «Роснефть» разрабатывает тренажеры виртуальной реальности для объектов энергетики [Электронный ресурс] // Нефтегазовая промышленность : сайт. – 2025. – 29 апреля – URL: <https://www.comnews.ru> (дата обращения: 13.04.2026).
5. В промышленную эксплуатацию введен первый виртуальный тренажер на АЭС [Электронный ресурс] // IoT.ru : сайт. – 2021. – 21 декабря – URL: <https://mail.iot.ru> (дата обращения: 15.04.2026).
6. МРСК Сибири и SAP готовы внедрять технологии дополненной реальности в энергосетевой комплекс Сибири [Электронный ресурс] // Обучение и развитие проектных команд : сайт. – 2018. – 30 марта – URL: <https://sapland.ru> (дата обращения: 15.04.2026).
7. Семенов, А. С. Технологии виртуальной реальности в задачах обучения персонала на электротехнических объектах / А. С. Семенов, С. В. Полежаев // Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2025. – № 54. – С. 44–62.

АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (MSA) ВАЖНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ПОВСЕМИСТНОГО ВНЕДРЕНИЯ

Анализ измерительных систем представляет собой статистический метод оценки точности, надежности и стабильности проводимых измерений, применяемых в производственных и контрольных процессах [1-3]. Вне зависимости от того, что данный анализ показал отличные результаты на повышение и обеспечение качества выпускаемой продукции в автомобильной промышленности (стандарт IATF 16949 [4] обязывает предприятия, выпускающие автомобильную продукцию и компоненты внедрять и применять в своей работе методики MSA), данный анализ все также имеет плохое распространение среди остальных отраслей промышленности. Отсутствие анализа измерительных систем может привести к финансовым потерям, браку и снижению доверия клиентов. А это значит, что в современных условиях повышенной конкурентоспособности организации должны ориентироваться на повышение качества выпускаемой продукции, чтобы повышать свое влияние на рынке и укреплять доверие потребителей.

На основании международного стандарта IATF 16949 производства автомобильной промышленности внедряют в свою работу методики [5]:

- перспективное планирование качества продукции и план управления (APQP);
- процесс согласования производственной связи (PPAP);
- анализ измерительных систем (MSA);
- анализ видов и последствий потенциальных отказов (FMEA);
- статистическое управление процессами (SPC).

Успешное применение MSA (правильное планирование и анализ измерительных систем) создает прочную основу для любого процесса принятия решений на основе получаемых данных.

Несмотря на доказанную эффективность в автомобильной промышленности, где MSA является обязательным требованием стандарта IATF 16949, в других отраслях его внедрение носит фрагментарный характер. Отсутствие анализа измерительных систем

напрямую ведет к финансовым потерям, увеличению брака и подрыву доверия потребителей.

Успешный опыт внедрения и применения методик MSA в автомобильной промышленности обусловлено комплексным внедрением методологий APQP, PPAP, FMEA, SPC и MSA, которые создают взаимосвязанную систему предотвращения дефектов. Проведенный анализ отраслевых стандартов показывает следующую картину:

1. Авиационная промышленность - AS9100 [6]
2. Железнодорожная отрасль - ISO/TS 22163 [7]
3. Медицинские изделия - ISO 13485 [8]

Исходя из проведенного анализа приемлемости MSA в международных стандартах – ключевой проблемой слабого распространения MSA является отсутствие жестких требований в большинстве международных отраслевых стандартах, аналогичных IATF 16949. Все это приводит к тому, что руководство многих компаний воспринимает MSA как дополнительную, а не обязательную затрату.

Важно отметить, что главной задачей любого контрольного процесса, применяющего измерительные системы – подтверждение стабильности измерительного процесса при производстве продукции, а также своевременное выявление и предупреждение отклонений от заданных параметров.

К ключевым рискам, возникающим при контроле качества продукции, стоит отнести риски метрологического обеспечения контрольных операций. В эти риски входят все этапы метрологического обеспечения – в том числе и анализ приемлемости измерительной системы для проведения контроля (измерений). Именно поэтому, в процессе выявления брака и определения причин несоответствий продукции очень важно использовать средства измерительной техники приемлемые для данной операции.

Измерительная система включает следующие составляющие: средство измерения; сотрудника (оператора средства измерения); стандарт (эталон); условия окружающей среды, в которых функционирует средство измерения (влажность, давление, температура); процедуры измерения и измеряемую деталь [10].

Именно поэтому одной из основных задач статистических методов контроля измерительных систем является обеспечения производства годной к эксплуатации продукции (или оказание полезных услуг) с наименьшими затратами, а эффективно налаженный процесс MSA может гарантировать, что получаемые при измерении данные являются

точными, а измерительная система, применяемая при контроле характеристик (параметров), соответствует данному процессу.

Заклучив, можно сказать, что анализом измерительных систем является совокупность экспериментов и анализов, выполняемых для оценки способностей измерительной системы, ее производительности и степени неопределенности в отношении измеряемых величин. А целью данного метода является количественная оценка эффективности измерительной системы, построенная на анализе возможных вариаций получаемых данных и определении их вероятных источников.

Стоит выделить следующие проблемы и препятствия, препятствующие повсеместному внедрению MSA:

1. Организационно-экономические. Такие препятствия заключаются в отсутствии поддержки со стороны руководства, которое связано с восприятием MSA как затратной, а не инвестиционной деятельности, не принимая во внимания долгосрочный эффект от внедрения и исключения брака.

2. Кадровые проблемы. В настоящий момент существует сильный дефицит квалифицированных специалистов (метрологов, статистиков, инженеров по качеству), обладающих знаниями в области статистики и методик MSA.

3. Технические препятствия. Вся сложность заключается в организации сбора данных для MSA в условиях непрерывного производства, где остановка оборудования критична. Также весомой проблемой является отсутствие или высокая стоимость специализированного программного обеспечения для статистического анализа.

4. Системные проблемы. Они заключаются в отсутствии интеграции MSA в общую систему менеджмента качества и корпоративные процедуры принятия решений.

Игнорирование внедрения анализа измерительных систем может привести к экономическим убыткам, связанными с неверными (или ошибочными) решениями на основе ошибочных измерений, возникающие из-за неприемлемости измерительных средств к контролю параметров. Угрозы жизни, здоровья и безопасности также могут возникать в следствии отсутствия контроля приемлемости измерительных систем.

Внедрение анализа измерительных систем является важным этапом непрерывного повышения качества продукции.

Для успешного внедрения анализа измерительных систем в работу стоит придерживаться следующего плана по внедрению:

1. Назначить по приказу в организации ответственного за внедрение методик MSA.
2. Определить группу по внедрению методик MSA во главе с исполнителем.
3. Запросить у потребителей продукции/услуг какие методики MSA они признают.
4. Провести обучение сотрудников (практические и теоретические обучения) методикам MSA.
5. Приобрести или разработать свое программное обеспечение для расчета и проведения работ с получаемыми при анализе данными
6. Провести обучение сотрудников по правилам работы с программным обеспечением.
7. Разработать документированную процедуру, входящую в состав документов системы менеджмента качества.
8. Провести анализ состояния контрольных процессов, требующих проведения MSA
9. Разработать и утвердить график проведения анализа, закрепив для каждого периодичность
10. Согласно графика производить анализ измерительных систем (а также вне графика при проведении каких-либо изменений, связанных с контрольными процессами)
11. Провести повторный анализ измерительных систем и технологических процессов (пока не получится требуемый результат по процессам или системам).

Несмотря на приведенные преимущества анализа измерительных систем, его внедрение все еще остается проблемным, сталкиваясь с организационными, техническими и отраслевыми преградами. Решение проблемы внедрения требует комплексного подхода, совмещающего в себе несколько механизмов: обучения специалистов, поддержки руководства и адаптации методик к конкретным процессам.

Как показывает опыт компаний, успешно внедривших в свою работу системы MSA, данный анализ не только улучшает качество, но и снижает риски и издержки. Для повсеместного и широкого распространения и внедрения анализа измерительных систем необходимо проводить его интеграцию в корпоративную культуру и процессы принятия решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рихтер, Е. В. Анализ измерительных систем / Е. В. Рихтер // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. — 2016. — Т. 2, № 12. — С. 199—201. — EDN XRYBVD.

2. Анализ измерительных систем (MSA). Справочное руководство. — 4-е изд. — США: Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors, 2010. — 238 с.

3. Применение анализа измерительных систем (MSA - measurement system analyses) на основе требований IATF 16949-2016 / И. В. Поцбнева, М. С. Веденеева, В. А. Юнда, Д. О. Александров // European Scientific Conference : сборник статей XXIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 07 февраля 2021 года. — Пенза : Наука и Просвещение, 2021. — С. 33—35. — EDN HQGGHX.

4. IATF 16949:2016. Системы менеджмента качества. Особые требования по применению ISO 9001:2015 для организаций, осуществляющих серийное и запасное производство в автомобильной промышленности = Quality management system — Particular requirements for the application of ISO 9001:2015 for automotive production and relevant service part organizations. — 1-е изд. — 2016.

5. ГОСТ Р 51814.5-2005. Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Анализ измерительных и контрольных процессов. — Введ. 2006—07—01. — М. : Стандартинформ, 2005. — 54 с.

6. AS9100D:2016. Системы менеджмента качества. Требования к авиационной, космической и оборонной организациям = Quality Management Systems — Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations. — 2016.

7. ISO/TS 22163:2023. Системы менеджмента качества. Особые требования к применению ISO 9001:2015 для организаций в железнодорожной отрасли = Railway applications — Quality management system — Business management system requirements for rail organizations: ISO 9001:2015 and specific requirements for application in the rail sector. — 2023.

8. ISO 13485:2016. Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Требования для целей регулирования = Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes. — 2016.

9. ISO 14971:2019. Изделия медицинские. Применение менеджмента рисков к медицинским изделиям = Medical devices — Application of risk management to medical devices. — 2019.

10. Высоцкая, М. В. Анализ и совершенствование измерительной системы испытаний авиакосмической техники для верификации/валидации продукции / М. В. Высоцкая, Р. С. Загидуллин, Т. А. Митрошкина, А. Я. Дмитриев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2019. — № 12. — С. 23—27. — EDN POTQIN.

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Производство железобетонных изделий является одной из основных отраслей промышленности строительных материалов, продукция которой предназначена для строительства зданий и сооружений различного назначения. В последнее время развивается тенденция в отрасли к автоматизации и цифровизации процессов производства изделий, что обусловлено необходимостью повышения качества выпускаемых изделий и снижения эксплуатационных затрат. [1]

Создание цифрового двойника является процессом переноса физического объекта в виртуальную среду. Данный подход является перспективным методом управления данными о производственном процессе. В производстве ЖБИ цифровой двойник позволяет выявлять и решать проблемы еще до старта производства, что повышает эффективность и сокращает издержек. [2]

Цифровой двойник представляет собой совокупность компьютерных моделей, которые отражают структуру и состояние технологических линий, а также поток информации с датчиков, установленных на основных узлах производства. Такое решение дает возможность сгруппировать производственные процессы и улучшать их на всех этапах. [3]

Контроль качества выпускаемых железобетонных изделий является перспективным направлением внедрения цифровых двойников в производство. Традиционные методы, основанные на визуальном выборочном контроле, имеют малую эффективность, ведь они не всегда могут поддерживать требуемый уровень качества и надежности.

Система контроля качества с внедрением в производство цифровых двойников организована следующим образом. В режиме реального времени датчики автоматически собирают актуальную информацию о производственных процессах, а данные визуального контроля оцифровываются. Полученные данные систематизируются и обрабатываются, при возникновении отклонений от технологических

параметров принимаются решения по устранению неисправностей. Данный подход может обеспечивать наблюдение за каждым этапом производства и лежит в основе для непрерывного совершенствования процессов.

Цифровые двойники активно внедряются для управления температурным режимом обработки железобетонных конструкций. Контроль твердения бетона возможно автоматизировать по температурно-временным параметрам. Такая система сокращает степень ручного труда и гарантирует соблюдение технологических режимов, от чего зависит качество изделий.

Оптимизация складских зон является проблемой многих предприятий по выпуску железобетонных изделий. На многих заводах зоны складирования могут быть в несколько раз больше производственных площадей. Плохая организация хранения готовой продукции ведет к необоснованным потерям. Внедрение цифровых двойников поможет рационально использовать складские зоны и сократить транспортную нагрузку при транспортировании между производственными зонами.

Цифровые двойники активно внедряются при автоматизации производственных процессов. Плоттеры, которые устанавливаются на новых линиях по производству железобетонных изделий, автоматически на их поверхности делают пометки о резке, маркируют продукцию и наносят другую информацию, которая связана с процессом.

Цифровизация промышленности строительных материалов и, в частности, предприятий по выпуску ЖБИ напрямую зависит от внедрения цифровых двойников в производство. Моделирование технологических процессов с получением и анализом данных, поступаемых с датчиков, оптимизирует производство и снижает эксплуатационные издержки.

Активное исследование и внедрение искусственного интеллекта, разработка стандартов качества и подготовка квалифицированных кадров являются основными направлениями развития цифровизации отрасли. Учитывая данные факторы, внедрение цифровых двойников при выпуске ЖБИ позволит достичь более стремительно повышать эффективность производства и существенно снизить возникаемые экономические издержки. [4]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матусов М. Г. и др. Практика применения бетоносмесителя с лопастями геликоидного типа на предприятии по выпуску ЖБИ //Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – 2019. – С. 243-245.
2. Байбурин А. Х., Кочарин Н. В. Цифровые технологии в строительстве //Челябинск. – Т. 20. – С. 20.
3. Куприяновский В. П. и др. Цифровой бетон: открытый BIM, машиночитаемые стандарты, IoT, цифровые двойники, логистика 4.0, бережливое строительство и другие промышленные подходы на примерах транспортных инфраструктур //International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – №. 9. – С. 133-173.
4. Хозяинов Д. М. Перспективы использования комплекса программных продуктов при проектировании и конструировании железобетонных изделий //Научный форум. Сибирь. – 2015. – №. 1. – С. 99-100.

УДК 697.34

Ильин Д.А.

Научный руководитель: Закиров Р.Н., канд. техн. наук, доц.
*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия*

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КВАРТИР В МНОГОКВАРТИРНОМ ДОМЕ

Актуальность. Высокий износ централизованных тепловых сетей (до 50 % потери тепла), отсутствие поквартирного регулирования и ежегодный рост тарифов на тепловую энергию стимулируют поиск децентрализованных решений. Цель работы – сравнительный анализ технических и экономических параметров поквартирных систем теплоснабжения (ПСТ) на базе газовых и электрических источников тепла.

Основные сравнительные характеристики. Для объективной оценки были выбраны три типовые схемы: центральное отопление (ЦО), автономное газовое отопление (АГО) и автономное электрическое отопление с тепловым насосом (АЭТН). Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение систем теплоснабжения квартиры (площадью 60 м²)

Параметр	Центральное отопление	Газовый котел (АГО)	Электрический тепловой насос (АЭТН)
Годовой расход тепла, Гкал/год	5,2	4,1	3,8
Потери при транспорте, %	до 30	0	0
Возможность регулировки t в комнате	нет (только общедомовой)	да, покомнатно	да, с погодозависимой автоматикой
Средний платёж за отопление, руб./мес	4 200	1 800	1 950
Ограничения по этажности	нет	только до 3 этажей (с 2025 г.)	нет
Период окупаемости оборудования (с монтажом), лет	–	5–6	8–9 (с учётом субсидий)

Как видно из таблицы, газовые системы наиболее экономичны в эксплуатации, но нормативно ограничены для многоэтажных зданий. Электрические тепловые насосы близки к ним по затратам и безопасны, однако требуют больших начальных инвестиций.

Расчёт теплового баланса и энергоэффективности. Для квартиры типовой серии П-44Т была выведена формула суммарных теплопотерь через ограждающие конструкции:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{инф}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – потери через стены, $Q_{\text{ок}}$ – через окна, $Q_{\text{пол}}$ и $Q_{\text{пот}}$ – соответственно через пол и потолок, $Q_{\text{инф}}$ – затраты на нагрев инфильтрационного воздуха.

При усреднённых значениях теплосопротивления ($R_{\text{ст}} = 2,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, $R_{\text{ок}} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и расчётной температуре наружного воздуха $-23 \text{ }^\circ\text{C}$ получено $Q_{\text{пот}} = 4,8 \text{ кВт}$. Автономная система позволяет снизить фактическое теплопотребление за счёт ночного понижения температуры на $5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $3,9 \text{ кВт}$ в среднем за отопительный период (экономию 19 %).

Анализ внедрения автономного теплоснабжения. На рис. 1 представлена упрощённая схема поквартирной системы с тепловым

насосом «воздух–вода» и встроенным контроллером, соответствующим новому ГОСТ Р 72534-2026.

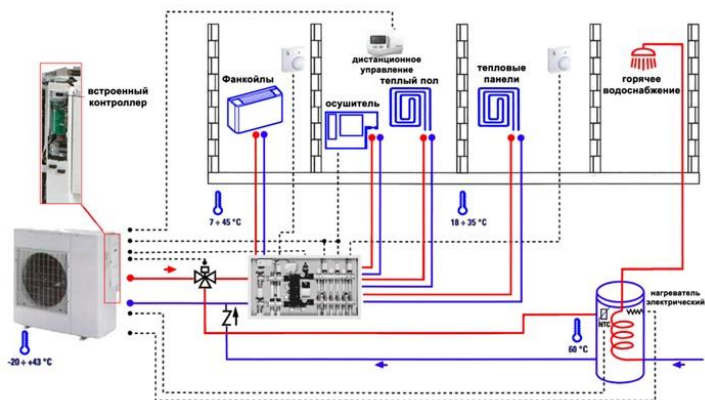


Рис. 1. Вариант отопления и горячего водоснабжения с тепловым насосом.

Источник: <https://www.topclimat.ru/publications/290.html>

На схеме представлена интеграция теплового насоса типа «воздух–вода» в систему отопления и горячего водоснабжения квартиры или дома. Тепловой насос забирает тепловую энергию из наружного воздуха и передаёт её в водяной контур. Вторичный водяной контур подключается к радиаторам, конвекторам, системе «тёплый пол» и фанкойлам. Для горячего водоснабжения предусмотрен бак-аккумулятор со встроенным электрическим нагревателем: в обычных условиях тепловой насос самостоятельно нагревает воду до 60 °С, а в периоды устойчивых низких температур автоматически включается резервный нагреватель. Управление системой осуществляется погодозависимой автоматикой, которая позволяет реализовывать ночные и комфортные режимы работы для максимальной энергоэффективности

Закключение. Практическое применение предложенных зависимостей и схемы показывает, что электрические поквартирные системы (особенно с тепловыми насосами) при текущих ограничениях на газовое отопление являются наиболее перспективным направлением для многоэтажного жилого фонда. Дальнейшие исследования требуют уточнения региональных тарифов и параметров автоматизации по ГОСТ Р 72534-2026.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеева, А. А. Сравнительная характеристика систем централизованного и автономного теплоснабжения в жилищном строительстве / А. А. Алексеева. — Текст : электронный // КиберЛенинка. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 05.05.2026).
2. Торопов, А. Л. Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения / А. Л. Торопов. — Текст : электронный // Vestnik MGSU. — 2023. — Vol. 18, No. 9. — P. 1451-1465. — URL: <https://www.vestnikmgsu.ru> (дата обращения: 05.05.2026).
3. Новые правила полностью ограничили поквартирное газовое отопление в многоквартирных домах. — Текст : электронный // Госэкспертиза РТ. — 26.06.2025. — URL: <https://gosexpertiza-rt.ru> (дата обращения: 05.05.2026).
4. Котел или теплонасос: ученые назвали самую выгодную систему отопления дома. — Текст : электронный // УНИАН. — 20.02.2026. — URL: <https://www.unian.net> (дата обращения: 05.05.2026).
5. ГОСТ Р 72534-2026. Системы отопления поквартирные с комплектными блоками автоматического управления. Общие технические требования (утвержден и введен в действие Приказом Росстандарта № 94-ст от 09.02.2026). — Текст : электронный // С-о-к.ру. — 25.03.2026. — URL: <https://www.c-o-k.ru> (дата обращения: 05.05.2026).
6. Вариант отопления и горячего водоснабжения с тепловым насосом. — Текст : электронный // TopClimat. — URL: <https://www.topclimat.ru> (дата обращения: 05.05.2026).

УДК 67.02;621.926.5

Исса Ю.М., Белозерских И.В., Токмаков А.С., Алешкин К.К.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПАДЕНИЯ МЕЛЮЩЕГО ТЕЛА В БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Как отмечалось ранее, одним из методов математического моделирования процессов является аналитический, который заключается в составлении уравнений статики и динамики процесса. Математические модели, построенные на основе статического метода составления описания, отражают основные закономерности процесса и

качественно более правильно характеризуют его даже при наличии недостаточно точных параметров модели. С их помощью можно изучать общие свойства объектов моделирования, относящихся к определенному классу. Для описания процессов используются следующие уравнения: алгебраические, интегральные и дифференциальные. Соответственно, и аналитические модели можно разделить условно на алгебраические, интегральные и дифференциальные[1,3].

Составление аналитической модели в виде алгебраического уравнения проследим на примере определения высоты падения мелющего тела в барабанной мельнице.

В общем случае при работе барабанных мельниц можно выделить три режима движения мелющих тел: каскадный, водопадный и центрифугальный. Наиболее эффективным из них является водопадный, который характеризуется подъемом мелющего тела на определенную высоту с последующим отрывом от стенки барабана и падением по криволинейной траектории.

В момент отрыва центробежная сила равна проекции силы тяжести на радиальную ось (рис.1):

$$P_{ц} = G \cos \alpha$$

или

$$m\omega^2 R = mg \cos \alpha. \quad (1)$$

Координаты тела после отрыва (рис.2):

$$\begin{aligned} x &= v_x t = vt \cos \alpha; \\ y &= v_y t - \frac{gt^2}{2} = vt \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где α - угол отрыва.

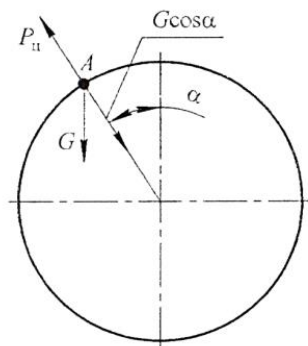


Рис.1. Баланс сил в момент отрыва

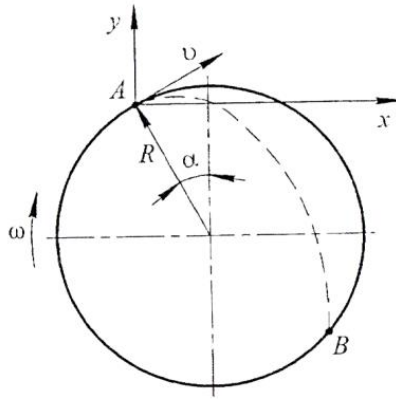


Рис.2. Траектория движения мелющего тела

Связав y с x , избавимся от t :

$$t = \frac{x}{v \cos \alpha} \quad (3)$$

Подставив в (2), получим:

$$y = v \frac{x \sin \alpha}{v \sin \alpha} - \frac{dx^2}{2v^2 \cos^2 \alpha} = xt g \alpha - \frac{dx^2}{2v^2 \cos^2 \alpha} \quad (4)$$

где $v = \omega R$ в момент отрыва.

Выразив угловую скорость из условия отрыва (1)

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{R}}$$

или

$$\cos \alpha = \frac{\omega^2 R}{g}, \quad (5)$$

окончательно, после преобразования, имеем:

$$y = xt g \alpha - \frac{x^2}{2R \cos^3 \alpha}. \quad (6)$$

Для решения этого уравнения начальные условия: при $x=0$
 $y = 0$, $v = \omega R$, $\alpha = \arccos \frac{\omega^2 R}{g}$. Также задаемся ω и R .

Граничные условия $x_0^2 + y_0^2 = R^2$.

Высоту падения можно определить путем совместного решения уравнения параболической траектории с уравнением окружности из граничных условий. Однако это несколько усложненная задача.

Предлагается более простой способ нахождения высоты падения. Суть определения высоты заключается в контроле за расстоянием s от момента отрыва до падения. В обоих случаях $s = R$ (рис.3).

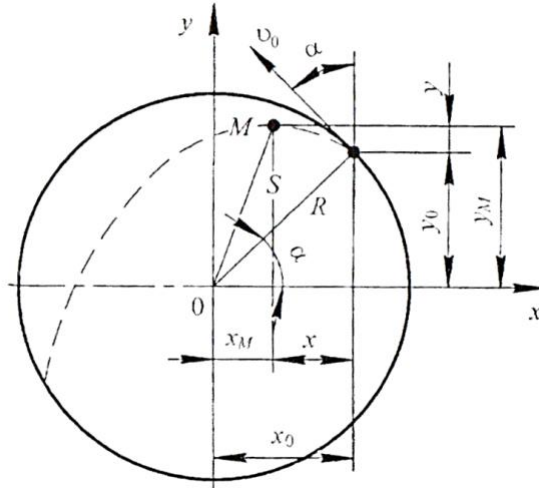


Рис.3. Траектория полета мелящего тела

Из рис.3 видно, что расстояние равно:

$$s = \sqrt{x_M^2 + y_M^2} \quad (7)$$

В свою очередь:

$$x_M = x_0 - x; y_M = y_0 - y, \quad (8)$$

где x, y - текущие координаты параболической траектории.

Из рис. 3 значения x_0 и y_0 определяются как

$$x_0 = R \cos \alpha; y_0 = R \sin \alpha \quad (9)$$

Текущие координаты равны:

$$x = v_0 t \sin \alpha; y = v_0 t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \quad (10)$$

Теперь можем записать:

$$s^2 = [R \cos \alpha - v_0 t \sin \alpha]^2 + \left[R \sin \alpha + v_0 t \cos \alpha - \frac{gt^2}{2} \right]^2 \quad (11)$$

$$v_0 = \omega R$$

$$(12)$$

Очевидно, что при $t=0$:

$$s^2 = R^2(\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = R^2 \quad (13)$$

Таким образом, при $t = 0$ $s^2 = R^2$, $s = R$ и при соприкосновении

$s = R$ (рис. 4).

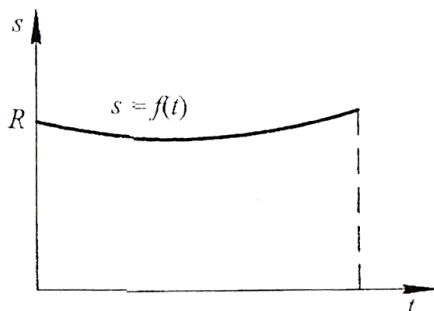


Рис. 4. Изменение расстояния s во времени

Проведем расчеты по уравнению (11) и получим зависимость

$$h = \frac{gt_1^2}{2} - v_0 t \cos \alpha, \quad (14)$$

где t_1 - время полета.

Таким образом, предложенная методика позволяет быстро и точно рассчитывать высоту падения мелющих тел как для обычных барабанных мельниц, так и для других типов мельниц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств/ В.В. Кафаров, М.В. Глебов – М.: Высш. шк., 1991.- 400с.
2. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е. Андреев, В.А. Перов, В.В. Зверевич – М.: Недра, 1980, - 415с.
3. Колесников В.Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб. пособие / В.Л. Колесников, И.И. Жарский, П.П.Урбанович. – Минск: БГТУ, 2004, - 302 с.
4. Несмеянов Н.П., Матусов М.Г., Картыгин А.В., Денисова Е.М., Лысенко М.С. Способы интенсификации энергетического воздействия мелющей загрузки в трубных шаровых мельницах // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XVIII. – 2019. – С. 269–271.
5. Богданов В.С., Сухоруков И.Н., Белозерских И.В., Токмаков А.С., Хромых К.А. Влияние внутримельничных устройств на энергетическую эффективность работы барабанных мельниц. //

Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXIV. – 2025. – С. 84–87.

УДК 621.311

Иссарь Е.А., Таркайло А.А.

Научный руководитель: Качан С.А. канд. техн. наук, доц.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Надежная работа энергетического оборудования является одним из ключевых условий устойчивого функционирования электроэнергетической системы любой страны. Особое значение это имеет для государств с централизованной энергосистемой, где стабильность работы отдельных генерирующих объектов напрямую влияет на безопасность энергоснабжения.

В энергетике Республики Беларусь значительная доля производства электрической энергии по-прежнему обеспечивается тепловыми электростанциями: конденсационными и теплоэлектроцентралями, на которых широко применяются турбинные установки. В связи с этим вопросы контроля технического состояния турбинного оборудования и своевременного выявления дефектов остаются актуальными для всей отрасли.

Энергетическая система Республики Беларусь представляет собой единый технологический комплекс, включающий генерирующие источники, магистральные электрические сети и распределительные системы. Управление основной частью энергетических объектов осуществляется государственным производственным объединением «Белэнерго», которое объединяет региональные энергокомпании и обеспечивает эксплуатацию электростанций, электрических сетей и вспомогательной инфраструктуры [1].

По состоянию на 2024 – 2025 годы установленная электрическая мощность генерирующих источников Республики Беларусь составляет около 12,7 ГВт, из которых значительная часть приходится на тепловые электростанции, работающие на природном газе и других видах органического топлива. В структуре установленной мощности около 9,7 ГВт приходится на тепловые электростанции, тогда как атомная генерация обеспечивает около 2,3 ГВт мощности энергосистемы [2].

Турбинные агрегаты тепловых электростанций относятся к числу наиболее сложных элементов энергетических установок. Основной функцией турбины является преобразование тепловой энергии пара в механическую энергию вращения ротора генератора, которая далее преобразуется в электрическую энергию.

Для примера на рисунке 1 представлены конструкция и основные элементы паровой турбины тепловой электростанции [3], объединяющей цилиндры высокого (ЦВД), среднего (ЦСД) и низкого (ЦНД) давления.

Конструктивно турбинная установка включает роторы, рабочие и направляющие лопатки, корпус турбины, систему подшипников, а также системы регулирования и смазки. В процессе эксплуатации данные элементы подвергаются значительным механическим и термическим нагрузкам. В результате могут возникать различные неисправности, включая износ подшипниковых узлов, повреждение лопаточного аппарата, нарушение балансировки ротора и снижение эффективности системы смазки.

На рисунке 2 приведена мнемосхема турбоустановки ТЭЦ на примере турбины ПТ-65/75-130/13 [4].

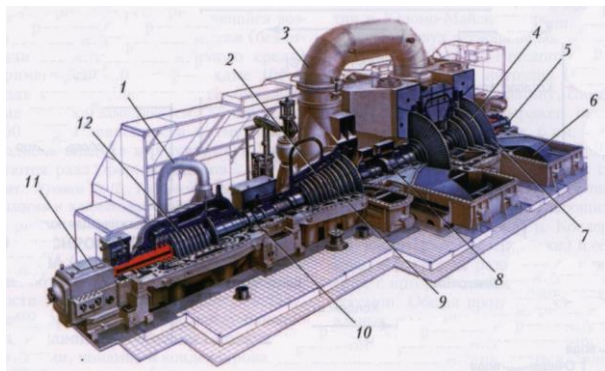


Рис. 1. Конструкция и основные элементы паровой турбины тепловой электростанции [3]: 1 – патрубок подвода пара к ЦВД; 2 – ротор среднего давления; 3 – ресивер перепуска пара из ЦСД в ЦНД; 4 – ротор ЦНД; 5 – полумуфта для присоединения ротора турбогенератора; 6 – выходной патрубок ЦНД на конденсатор; 7 – рабочие лопатки последней ступени ЦНД; 8 – муфта, соединяющая роторы среднего и низкого давления; 9 – рабочие лопатки ротора среднего давления; 10 – муфта, соединяющая роторы высокого и среднего давления; 11 – блок регулирования и управления турбиной; 12 – ротор высокого давления

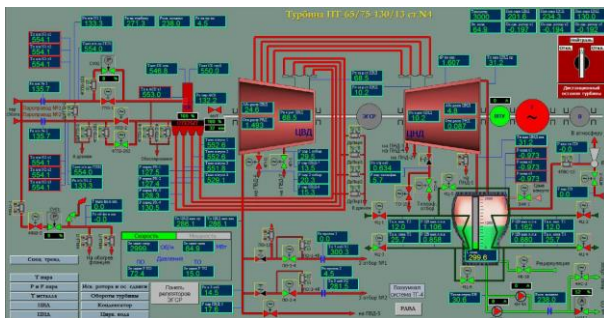


Рис. 2. Мнемосхема паротурбинной установки ТЭЦ [4]

В традиционной практике эксплуатации энергетических объектов диагностика турбинного оборудования осуществлялась преимущественно в рамках планово-предупредительных ремонтов. Такой подход предполагал проведение периодических осмотров и технических проверок через определенные интервалы времени. Однако развитее энергетической отрасли и увеличение требований к надежности энергоснабжения привели к необходимости внедрения более эффективных методов контроля состояния оборудования.

В современных условиях все большее распространение получают автоматизированные системы диагностики, позволяющие осуществлять непрерывный мониторинг параметров работы турбинных агрегатов. Автоматизация диагностики основана на использовании комплекса датчиков, измерительных приборов и программных средств анализа данных. В процессе эксплуатации турбинных установок осуществляется непрерывный контроль ряда параметров, характеризующих техническое состояние оборудования. К числу таких параметров относятся вибрационные характеристики ротора, температура подшипников, давление и температура масла в системе смазки, скорость вращения ротора, а также температурные деформации корпуса турбины. Полученные данные поступают в автоматизированные системы управления технологическими процессами, где происходит их обработка и анализ.

В процессе работы турбинного агрегата возникают колебательные процессы, связанные с вращением ротора и действием динамических нагрузок. Поэтому одним из наиболее распространенных методов диагностики турбинного оборудования является вибрационный мониторинг.

Цифровые методы отслеживания технического состояния силового оборудования в последние годы получают всё более широкое

распространение [5]. Благодаря современным информационным системам удаётся наладить централизованное получение и обработку данных, накапливаемых в процессе эксплуатации. Формируемые на этой основе базы данных содержат информацию о поведении агрегатов на разных режимах. Сравнение рабочих параметров турбин, хранящихся в таких базах, помогает обнаруживать отклонения от штатных эксплуатационных показателей.

Развитие цифровых подходов неразрывно связано с внедрением методов работы с большими массивами данных и алгоритмов, основанных на машинном обучении. Отметим, что для мощной теплофикационной паротурбинной установки требуется измерение и анализ до 300 аналоговых сигналов и до 200 дискретных. Для конденсационной установки количество регистрируемых сигналов меньше на 20 – 40 %.

Новые технологии позволяют установить неочевидные взаимосвязи между различными эксплуатационными параметрами и на их основе строить прогнозы возникновения неполадок. Так, обработка накопленной статистики по вибрационному поведению турбин способна указать на повышенную вероятность износа подшипников или разрушения иных конструктивных элементов. Применение таких методов открывает путь к отказу от стратегии планово-предупредительных ремонтов в пользу более рационального обслуживания, ориентированного на реальное техническое состояние агрегатов.

Для белорусской энергосистемы вопросы технического перевооружения турбинного парка и внедрения автоматизированных диагностических средств относятся к числу отраслевых приоритетов. На нескольких энергообъектах страны в последние годы ведутся работы, связанные с реконструкцией турбоагрегатов и установкой современных систем контроля технологических показателей. Параллельно обновляются измерительные каналы и программное сопровождение, задействованное в мониторинге состояния оборудования. Примером является Минская ТЭЦ-3, где в рамках плановой реконструкции в 2022 году был введён в эксплуатацию современный паровой турбоагрегат Тп-115/130-12,8 в результате чего мощность ТЭЦ повышена на 15 МВт.

Реальный опыт работы станций подтверждает, что применение автоматизированных средств диагностики заметно увеличивает надёжность турбинного оборудования. По оценкам экспертов, непрерывный мониторинг позволяет сократить риск аварийного выхода агрегатов из строя и уменьшить затраты на неплановые ремонтные

работы, составляющие до 5 % от суммарных затрат времени на техническое обслуживание и ремонты.

Применение указанных методов на практике повысит безопасность, продлит срок службы оборудования и усилит устойчивость всей национальной энергосистемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белэнерго : [сайт]. – Минск, 2025. – URL: <https://www.atomic-energy.ru> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.

2. Энергетический профиль Беларуси : [сайт]. – Минск, 2024. – URL: <https://www.eeseaес.org> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.

3. Устройство паровой турбины : [сайт]. – Москва, 2026. – URL: <http://par-turbina.usoz.net> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.

4. Тренажер для операторов котла БКЗ Е-320-140ГМ и турбоагрегата ПТ-65/75-130/13 КТЦ Уфимской ТЭЦ-2 : [сайт]. – Пенза, 2002 – 2026. – URL: <https://www.krug2000.ru> (дата обращения: 02.04.2026). – Текст : электронный.

5. Внедрение цифровой системы мониторинга запасов устойчивости (Россия и Беларусь) : [сайт]. – Москва, 2025. – URL: <https://www.so-ups.ru> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст : электронный.

УДК 623.746-519:004.942

Канищев Д.В.

Научный руководитель: Перевузник В.С., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ СРЕДЫ И КОРРЕКТИРОВКА ТРАЕКТОРИЙ БПЛА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Для автономного полета БПЛА недостаточно только обнаружить препятствие: полученная информация должна быть преобразована в модель, пригодную для вычислительного планирования маршрута. В работах по движению групп мобильных роботов показано, что качество траектории зависит от способа представления препятствий и свободных областей [1]. Моделирование групп дронов подтверждает

необходимость согласования динамики аппаратов, ограничений сцены и команд управления [2]. При использовании Gazebo и PX4 важна корректная передача ограничений между уровнем моделирования, контроллером и блоком визуализации [3]. Обзоры по планированию траекторий БПЛА указывают, что переход от статической карты к динамической модели среды является условием безопасной автономной навигации [4].

Цель статьи состоит в систематизации способов классификации участков окружающего пространства и построения компактной модели ограничений, используемой при коррекции траектории БПЛА. Такая постановка отличается от задачи идентификации препятствий: в центре внимания находится формальная структура данных, передаваемая планировщику.

В таблице 1 представлена классификация участков среды, применимая при построении локальной карты и при передаче ограничений в алгоритм планирования.

Таблица 1 — Классификация участков среды для задач планирования траектории БПЛА

Класс участка	Содержание модели	Роль в планировании
Свободный участок	Область, в которой движение допустимо при текущем запасе безопасности	Основной коридор движения и глобальная прокладка маршрута
Статическое препятствие	Здание, опора, дерево, ЛЭП или иной объект с неизменным положением	Формирование постоянной запретной области
Динамическая зона	Область прогнозируемого положения подвижного объекта	Локальная коррекция и временное ограничение маршрута
Буфер риска	Расширенная область вокруг препятствия с учетом ошибки локализации	Поддержание безопасной дистанции
Неопределенный участок	Фрагмент карты с недостаточной достоверностью данных	Снижение скорости или повторное обследование зоны

Предложенная классификация позволяет представить полетную среду как совокупность участков с различным уровнем допустимости

движения. Для статических объектов рациональны сетки занятости, воксельные структуры и полигональные аппроксимации. Для подвижных объектов дополнительно учитывается временной фактор, поскольку опасной является не только текущая позиция препятствия, но и область его возможного положения в ближайшем интервале движения.

Логика преобразования сведений об участке среды в ограничения планировщика показана на рисунке 1. Сначала данные о сцене разделяются на классы участков, затем для каждого класса задается тип ограничения: запретная область, буфер безопасности, временная зона риска или область повторного анализа.

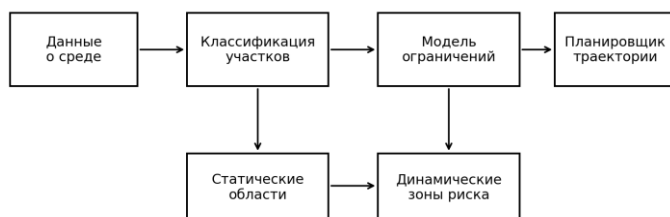


Рис. 1. Структура преобразования данных об участке среды в ограничения планировщика

Методика моделирования. В разработанной схеме глобальный маршрут задается по предварительно сформированной карте, а локальная коррекция активируется при появлении новых препятствий или при изменении состояния динамических объектов. В качестве параметров оптимизации рассматриваются координаты промежуточных опорных точек и скорости движения на отдельных участках маршрута. Целевая функция ориентирована на сокращение времени достижения конечной точки при обязательном сохранении условий бесстолкновительного движения [4].

Практическая ценность такого представления состоит в независимости модели среды от конкретного алгоритма оптимизации. Одни и те же данные могут использоваться генетическим алгоритмом, RRT*-планировщиком или предиктивным регулятором. Каждый объект описывается не только геометрией, но и назначением ограничения: запретная область, область повышенной стоимости, временно недоступный участок или зона неопределенности.

В таблице 2 приведены основные компоненты программно-экспериментальной среды, использованной для проверки корректности моделирования участков и перепланировки траектории.

Таблица 2. Компоненты среды моделирования и экспериментальной проверки

Компонент	Назначение	Использование в исследовании
ROS 2 Humble	Обмен данными между модулями	Связь планировщика, контроллера и визуализации
Gazebo	Физическая симуляция сцены	Проверка движения в пространстве с препятствиями
PX4 Autopilot	Управление БПЛА	Отработка команд взлета, перемещения и маневра
MAVROS / Python	Передача команд и логика сценариев	Запуск траекторий и локальная коррекция маршрута
RViz / Docker	Визуализация и воспроизводимость	Контроль траекторий, карт и состояния аппаратов

Экспериментальная часть. В симуляционной среде проверялись сценарии управления несколькими БПЛА, выполнение индивидуальных команд и корректность движения по линейным и дугообразным траекториям. Начальным этапом являлся взлет аппаратов на безопасную высоту, после чего каждому агенту передавалась отдельная команда перемещения. Зафиксированные расхождения между расчетными и визуальными координатами показывают необходимость включения в модель буфера неопределенности.

Натурные испытания выполнялись на тестовом полигоне с использованием БПЛА, оснащенных полетным контроллером, вычислительным модулем и бинокулярной камерой. В одном сценарии аппарат проходил через отверстие в препятствии при достаточной высоте полета; в другом выполнял обход по дугообразной траектории. Дополнительно проверялся обход нескольких препятствий с использованием данных картографирования.

На рисунке 2 приведены обобщенные показатели, полученные при сравнении движения без учета динамических ограничений и при использовании полной модели среды. Наиболее заметный эффект связан со снижением числа потенциальных столкновений, однако дополнительное значение имеют сокращение времени перепланировки и рост плавности траектории.

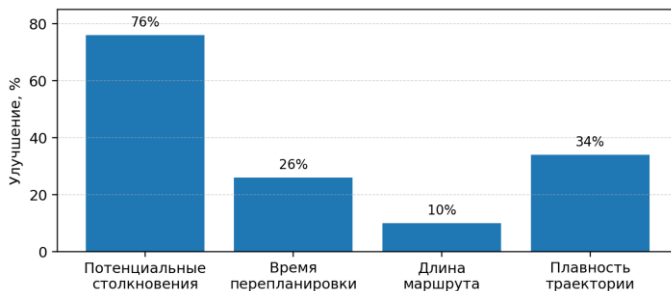


Рис. 2. Улучшение показателей планирования при использовании модели ограничений среды

Обсуждение результатов. Формализация участков пространства является самостоятельным этапом построения автономной системы управления БПЛА. Модуль моделирования определяет, как обнаруженный объект влияет на маршрут: исключается ли участок из движения, получает повышенную стоимость или становится временной зоной риска. Это повышает устойчивость системы при неполных данных и делает перепланировку более предсказуемой.

Особое значение имеет разделение статических и динамических ограничений. Статические препятствия рационально хранить в виде устойчивой карты, а динамические объекты требуют краткосрочного прогноза и периодической корректировки допустимых областей. В результате планировщик получает структурированную модель среды, в которой каждый участок имеет понятный режим обработки.

В статье предложена классификация участков среды и препятствий для задач автономной навигации БПЛА. Показано, что преобразование данных об окружении в систему ограничений планировщика позволяет отделить уровень моделирования среды от уровня сенсорной идентификации. Разработанная схема применима для глобального планирования, локальной перепланировки и проверки в связке ROS 2, Gazebo и PX4. Использование модели ограничений снижает число потенциальных столкновений, уменьшает время коррекции маршрута и повышает плавность движения.

Работа выполнена при поддержке государственного задания FRRU-2024-0003 № 217ФБ научно-исследовательской лаборатории беспилотных летательных аппаратов ФГБОУ ВО ДонИТУ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбак Л.А., Малышев Д.И., Дьяконов Д.А., Мамченкова А.А. Генетический алгоритм планирования траектории движения группы мобильных роботов при наличии стационарных и подвижных препятствий // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2025. - № 2 (244). - С. 175–185.
2. Дуюн И.А., Дуюн Т.А., Рыбак Л.А. Моделирование динамики движения группы дронов с применением открытой платформы gym-bullet-drones // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2025. - № 5. - С. 137–148.
3. Rybak L.A., Pisarenko A.S., Polyakov V.M. Synthesis of a High-Level Controller for Controlling a Group of UAVs in the Gazebo Simulation Environment // ICIEAM - 2025. - P. 489–494.
4. Debnath D., Vanegas F., Sandino J., Hawary A.F., Gonzalez F. A Review of UAV Path-Planning Algorithms and Obstacle Avoidance Methods for Remote Sensing Applications // Remote Sensing. - 2024. - V. 16. - No. 21. - Article 4019.

УДК 004.946

Кизилова Э.А., Нестеров Д.В., Усиков В.В.

*Научный руководитель: Шеметова О.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, г. Белгород, Россия*

СИСТЕМА ЗАХВАТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Современные промышленные предприятия постоянно стремятся к повышению производительности и снижению затрат, особенно в условиях роста цен на электроэнергию. Модернизация манипуляционных устройств, применяемых для фиксации металлических компонентов в автоматизированных линиях, представляет собой приоритетное направление такой оптимизации. Захватные механизмы демонстрируют избыточное потребление электрической мощности наряду с недостаточной прецизионностью позиционирования, что обуславливает ухудшение финансово-экономических параметров производства. Металлообрабатывающее оборудование требует пересмотра энергетического баланса технологических установок, поскольку массово эксплуатируемые конструкции характеризуются фундаментальными ограничениями, неоправданно высокими энергозатратами и ограниченной

способностью адаптироваться к вариативным физическим свойствам транспортируемых изделий.

Устаревшие системы электромагнитного захвата ведут к значительным экономическим потерям через избыточное потребление энергии и недостаточную производительность установок. Преодоление указанных ограничений предполагает разработку принципиально новых концепций, интегрирующих достижения фундаментальной науки с передовыми инженерными подходами [1]. Эволюция электромеханических систем демонстрирует смещение внимания к прецизионному мониторингу энергораспределения в реальном времени. Усложнение производственных циклов обуславливает необходимость глубокой интеграции интеллектуальных алгоритмов в контуры технологического управления [2].

Современное промышленное производство использует разнообразие систем манипулирования металлическими компонентами. Атмосферное давление служит основой работы вакуумных систем, демонстрирующих оперативность активации при конструктивной элементарности. Зажимные устройства гарантируют стабильную фиксацию посредством механического воздействия, что одновременно обуславливает необходимость существенных силовых затрат и ограничивает применимость при манипулировании крупноразмерными элементами нестандартной геометрии [3-4]. Перманентные магнитные системы обеспечивают беспрепятственное перемещение массогабаритных ферромагнитных объектов произвольной конфигурации, редуцируя операторскую нагрузку. На рисунке 1. показаны наиболее часто используемые захваты.

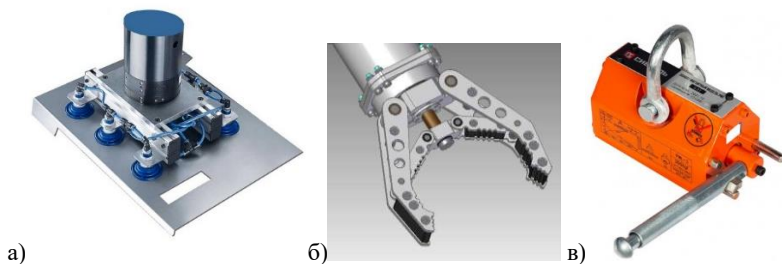


Рис. 1. Виды захватов:

а – вакуумный; б - механический; в - магнитный

Электромагнитные захваты — наиболее технологичное решение благодаря отсутствию подвижных частей и компактности: они способны удерживать ферромагнитные детали практически любых габаритов, а регулировка силы притяжения обеспечивает необходимую

гибкость применения. В настоящее время развитие таких систем сосредоточено на нескольких ключевых направлениях: совершенствуются материалы для магнитов, что позволяет увеличить грузоподъемность при снижении энергопотребления; внедряются интеллектуальные системы контроля, которые отслеживают массу груза, качество контакта и предотвращают аварийные ситуации; разрабатываются алгоритмы управления и защитные покрытия, устойчивые к коррозии, нагреву и механическим воздействиям. Кроме того, производители стремятся к созданию универсальных моделей, пригодных для использования в различных отраслях, что сокращает потребность в специализированном оборудовании и снижает капитальные затраты. Таким образом, совершенствование электромагнитных захватов направлено на повышение эффективности производства, безопасности и экономической целесообразности их эксплуатации [5–6].

Модернизированная система захвата металлических деталей повышает энергоэффективность и точность работы. Детали поступают на участок конвейерной ленты со встроенными весами — вес каждой фиксируется автоматически. Данные передаются в микроконтроллерную систему, которая рассчитывает оптимальное напряжение для электромагнитного захвата. Напряжение регулируется индивидуально под каждый элемент, что позволяет избежать перерасхода энергии и точно подобрать необходимую силу удержания. Внешний вид устройства представлен на рисунке 2.

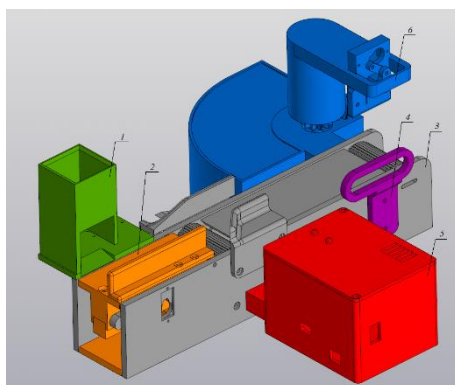


Рис. 2. Внешний вид каркаса устройства

Специальный механизм подачи 1 направляет деталь на весы 2. Затем весы переворачиваются под заданным углом, и деталь съезжает

на движущееся полотно конвейерной ленты 3. По пути стоит датчик на регулируемом кронштейне 4 — он реагирует на присутствие металла. Как только деталь обнаружена, датчик передаёт сигнал в систему управления (её блок находится в корпусе 5), и та мгновенно включает электромагнитный захват 6 с заранее рассчитанными параметрами. Так достигается оптимальный баланс между качеством удержания и расходом электроэнергии. Алгоритм работы устройства показан на рисунке 3.

Такой подход решает главную проблему традиционного метода — высокое энергопотребление и нестабильность удерживающей силы, возникающие из-за отсутствия индивидуального подбора напряжения.

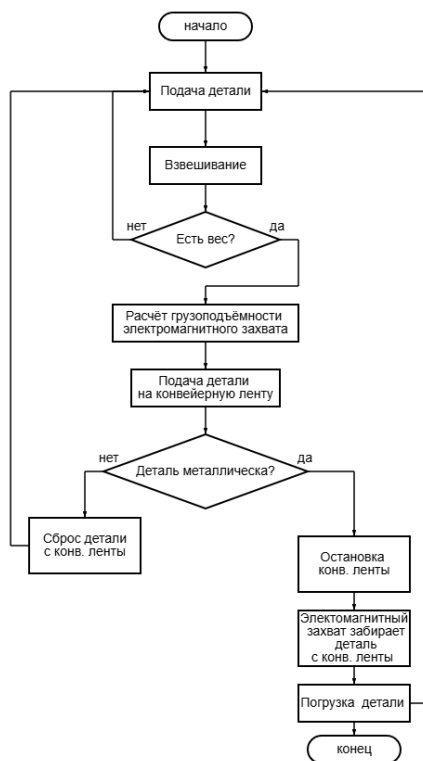


Рис. 3. Схема работы модернизируемой системы захвата

Новая схема экономит энергию и повышает точность работы системы, что делает её пригодной для массового применения в промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ягодкина Т. В., Беседин В. М. Теория автоматического управления. – Москва, 2019. – 470 с.
2. Буренин В. В., Трифонова Г. О. Управление техническими системами : учебное пособие. – Москва : МАДИ, 2020. – 189 с.
3. Костюков В. А. Проектирование роботов и робототехнических систем : учебное пособие. – Ростов-на-Дону, 2020. – 187 с.
4. Тимофеев И. А. Основы электротехники, электроники и автоматики : учебное пособие. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 196 с.
5. Харламов В. В., Москалев Ю. В., Попов Д. И. Расчёт электропривода технологических установок. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2020. – 39 с.
6. Исаев А. В. Расчёт ленточного конвейера : учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – 38 с.

УДК 628.161.2:628.345

Киреев А.Е.

***Научный руководитель: Староверов С.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ КОАГУЛЯЦИИ- ФЛОКУЛЯЦИИ

Обеспечение стабильного качества питьевой воды остаётся одним из ключевых приоритетов современной экологической инженерии и коммунальной инфраструктуры. В Российской Федерации значительная доля водозаборных узлов опирается на подземные артезианские источники, для которых традиционно характерно повышенное содержание железа — от 1 до 15 мг/л при нормативе [1] не более 0,3 мг/л. Длительное время обезжелезивание реализовывалось по схеме, включающей обязательную стадию окисления двухвалентного

железа (Fe^{2+}) до трёхвалентного (Fe^{3+}) с последующей фильтрацией на каталитических или зернистых загрузках. Несмотря на распространённость, данные решения демонстрируют низкую энерго- и ресурсоэффективность, особенно при работе с водами, содержащими бикарбонаты и природные органические вещества [2].

Цель настоящей работы заключается в повышении эффективности систем водоподготовки за счёт внедрения инновационной технологии, комбинированной коагуляции-флокуляции, позволяющей отказаться от энергоёмкой стадии окисления и стабильно удалять как бикарбонатное, так и органически связанное железо при низких температурах исходной воды. Достижение цели обеспечивается комплексом разработок, адаптированных под наиболее характерные гидрохимические условия артезианских скважин РФ.

Процесс коагуляции основан на нейтрализации поверхностного заряда коллоидных частиц, что приводит к снижению электростатического отталкивания и возможности их сближения под действием сил Ван-дер-Ваальса [3]. В гидрокарбонатных подземных водах высокая щёлочность (2-6 мг-экв/л) создаёт буферную ёмкость, затрудняющую управление pH и, как следствие, эффективность традиционных коагулянтов на основе солей алюминия или железа [3].

Органические вещества природного происхождения — гуминовые и фульвокислоты — образуют с ионами железа устойчивые хелатные комплексы, характеризующиеся высокой кинетической инертностью. Константы устойчивости таких комплексов достигают 10^{10} - 10^{14} , что делает их резистентными к окислительному воздействию гипохлорита при нейтральных значениях pH [4]. Диаграмма Пурбе, традиционно используемая для прогнозирования форм существования железа, не учитывает влияние органических лигандов, что объясняет расхождение между теоретическими предсказаниями и практическими результатами очистки [4].

Флокуляция, в свою очередь, представляет собой процесс агрегации дестабилизированных частиц в крупные хлопья под действием высокомолекулярных полимеров. Синергетическое сочетание коагулянта и флокулянта в единой рецептуре позволяет сократить время формирования хлопьев и повысить их механическую прочность, что особенно важно при низких температурах воды (4-10 °C), характерных для артезианских горизонтов.

Специфика подземных вод определяется преобладанием железа в бикарбонатной форме, доля которой может достигать 90 % от общего содержания элемента. При наличии в водоносном горизонте гуминовых и фульвокислот железо образует устойчивые хелатные комплексы,

обладающие высокой коллоидной стабильностью. Лабораторные исследования и серия *jar*-тестов подтвердили, что традиционный подъём pH, опирающийся на термодинамические предсказания диаграммы Пурбе, а также дозирование гипохлорита натрия не обеспечивают разрушения координационных связей в железо-органических комплексах. В результате коллоидные частицы остаются в дисперсном состоянии, не агрегируют и свободно проходят через

Традиционные схемы обезжелезивания, как показывает практика, имеют ряд эксплуатационных «узких мест». Быстрое обрастание каталитических загрузок органическими плёнками — явление, с которым сталкивается большинство ВЗУ, — ведёт к сокращению межрегенерационных циклов, падению гидравлической проницаемости и росту частоты обратных промывок. Энергетическая нагрузка аэрационных колонн и насосного оборудования также является существенной: для промышленных предприятий затраты электроэнергии на функционирование комплекса систем аэрации и фильтрации могут составлять до 30 % от операционных расходов ВЗУ. Хлорирование, в свою очередь, формирует токсичные хлорорганические побочные продукты, что усложняет соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21. Таким образом, актуальность поиска альтернативных решений обусловлена как техническими ограничениями, так и социально-экологическими требованиями к устойчивой водоподготовке.

Научная новизна подхода состоит в прямом удалении железа — через комбинированную коагуляцию-флокуляцию, без предварительной стадии окисления (ни химического, ни пневматического). Впервые экспериментально обоснован механизм дестабилизации железо-органических коллоидов в условиях гидрокарбонатного буфера при низких температурах с применением синергетических реагентных систем. Комбинированные эколоагулянты, объединяющие коагулянт и флокулянт в единой рецептуре, обеспечивают одновременную нейтрализацию поверхностного заряда частиц и их последующую агрегацию в плотные [5].

В основе технологии лежит двухступенчатый режим смешения — мы отработали его на лабораторной установке. Сначала идёт фаза интенсивного перемешивания: градиент скорости 300-500 с⁻¹, продолжительность 30-60 секунд. За это время реагент равномерно распределяется по объёму, а коллоидные частицы преодолевают энергетический барьер отталкивания. Затем следует вторая фаза — медленное перемешивание (30-50 с⁻¹, 10-15 минут). Здесь создаются

условия для роста хлопьев, причём без их механического разрушения. Такая схема, как показали наши эксперименты, позволяет эффективно отделять железо: либо в отстойниках, либо на фильтрах глубокой очистки. Аэрация при этом полностью исключается. Что это даёт? Во-первых, снижается энергопотребление. Во-вторых, удаётся предотвратить коррозию трубопроводов и закольматирование загрузок. В-третьих, не образуются токсичные побочные продукты. По сути, процесс переходит в категорию ресурсосберегающих — и это, на наш взгляд, ключевое преимущество метода.

Экспериментальная отработка технологии выполнялась на установке для jar-тестирования с программируемым градиентом скорости. Благодаря такой конструкции удалось максимально точно воспроизвести гидродинамические условия, характерные для промышленных реакторов. При фиксированных начальных параметрах (исходная вода имела концентрацию железа около 3,2 мг/л, заданные pH 6,8-7,2 и температура воды 8 ± 2 °C) дозировка комбинированного реагента варьировалась в диапазоне 5-30 мг/л. Анализ кинетики осаждения и стабильности коллоидных систем показал, что оптимальный режим обеспечивает снижение концентрации железа до 0,18 мг/л, что соответствует степени очистки 94 % и полностью удовлетворяет нормативным требованиям [6]. Что касается энергоэффективности: КПД системы возрастает. Но главное — энергозатраты сокращаются. По нашим расчётам, экономия составляет 40-50 % в сравнении с классическими аэрационно-фильтровальными схемами. Разумеется, точная цифра зависит от конкретных условий эксплуатации.

Отдельно стоит сказать о масштабируемости. Большинство внешних факторов — например, температура водоносного горизонта, исходный гидрохимический состав, сезонные изменения ХПК — на производстве практически не поддаются управлению. Или поддаются, но с большим трудом. Стабильно гарантировать нормативное качество воды можно только через оптимизацию двух вещей — дозирования комбинированного реагента и режимов гидродинамического смешения. Именно на этом мы и сфокусировались. Наша инженерная методика расчёта базируется на трёх показателях: щёлочность исходной воды, перманганатная окисляемость (ХПК) и температура. Такой подход, как показала практика, даёт возможность гибко настраивать процесс под любой артезианский источник — даже с изменчивым гидрохимическим составом.

Эту технологию можно применить в нескольких основных направлениях. Во-первых, это станции водоподготовки питьевого

водоснабжения — здесь метод работает наиболее эффективно. Во-вторых, локальные очистные сооружения коттеджных посёлков и промышленных предприятий, которые используют автономные системы водоснабжения. В-третьих, котельные и ТЭЦ — для них качество подпиточной воды критически важно. Но есть и особая сфера применения — пищевая и фармацевтическая промышленность. Потому что здесь требования к органолептическим и физико-химическим показателям воды исключительно строгие. И наша технология, как мы полагаем, полностью отвечает этим требованиям.

Разработанная энергосберегающая технология комплексного обезжелезивания подземных вод методом комбинированной коагуляции-флокуляции представляет собой научно обоснованную и технически реализуемую альтернативу традиционным энергоёмким схемам. Отказ от стадии окисления, использование синергетических реагентов систем и оптимизированная гидродинамика смешения позволяют стабильно достигать нормативных показателей качества воды при снижении эксплуатационных затрат на 40-50 %. Полученные экспериментальные данные и инженерная методика расчёта обеспечивают масштабируемость решения и его адаптивность к изменчивым гидрохимическим условиям артезианских источников. Дальнейшие работы будут направлены на промышленную апробацию технологии, интеграцию узлов дозирования в автоматизированные системы управления процессом и оптимизацию рецептур комбинированных реагентов для расширения диапазона применимости технологии. Внедрение предлагаемых решений способствует переходу водоподготовительной отрасли к ресурсосберегающим и экологически устойчивым стандартам эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Раздел I. Питьевая вода. – Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 456 с.
2. Белов, К. А. Ресурсосберегающие технологии водоподготовки: анализ энергоэффективности и экологических показателей / К. А. Белов, Т. М. Соколова // Водное хозяйство России. – 2023. – № 2. – С. 78–89.
3. Ласточкин А. Н. Водоподготовка: учебное пособие для вузов. – Москва: Издательство АСВ, 2019. – 304 с. – ISBN 978-5-93093-154-2.

4. Козлова Е. А., Дмитриев А. В. Влияние гуминовых веществ на кинетику коагуляции при обезжелезивании подземных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 4. – С. 55–62.

5. Васильев, Р. Ф. Инновационные реагенты для водоподготовки: синтез, свойства и применение / Р. Ф. Васильев, Е. Г. Тарасова. – Москва: Химия, 2019. – 288 с. – ISBN 978-5-98789-456-2.

6. ГОСТ 31868-2018. Вода. Методы определения железа. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 14 с.

УДК 628.511.4:532.527

Киреев В.Е.

*Научный руководитель: Уваров В.А., д-р техн., наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЫЛИ В АСПИРАЦИОННЫХ УКРЫТИЯХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВОЗДУШНО- РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ЗАТВОРА С ЭФФЕКТОМ КОАНДА

При перегрузке сыпучих материалов на ленточных конвейерах концентрация пыли достигает 400-950 мг/м³ [1], что в десятки раз превышает предельно допустимые концентрации. Ленточные транспортёры составляют около 90 % всех конвейерных систем, эксплуатируемых в России. Энергопотребление систем обеспыливающей вентиляции достигает 20% технологических мощностей предприятия [2], поэтому снижение объёмов аспирируемого воздуха без ущерба для эффективности пылеулавливания представляет ключевую инженерную задачу.

Цель настоящей работы - систематизация конструктивно-технологических решений по снижению объёмов эжектируемого воздуха в перегрузочных узлах, выявление их принципиальных ограничений и обоснование эффективности оригинального технического решения - воздушно-рециркуляционного затвора (ВРЗ) с эффектом Коанда.

Классификация методов снижения пылевыведения в аспирационных укрытиях

Существующие технические решения по локализации пыли в перегрузочных узлах систематизированы на рис. 1 и разделены на четыре группы: методы пылеподавления (распыление воды, пены, пара); инерционное пылесосаждение внутри укрытия; рециркуляция

аспирируемого воздуха (полная и частичная); увеличение гидравлического сопротивления тракта «верхнее укрытие - желоб - нижнее укрытие» с применением механических элементов.

Расход воздуха при перегрузке сыпучего материала определяется суммарным коэффициентом местного сопротивления (КМС) тракта и включает эжектируемый объём и подсос через неплотности укрытия. Снижение объёма аспирации может быть достигнуто повышением КМС нижнего укрытия, являющегося наиболее управляемым в условиях производства параметром.

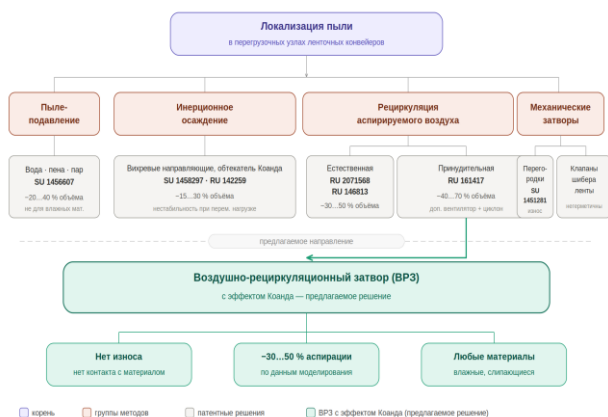


Рис. 1. Классификация методов снижения пылевыведения в аспирационных укрытиях перегрузочных узлов ленточных конвейеров

Сравнительный анализ конструктивных решений аспирационных укрытий

Систематизация патентных решений по локализации пыли в перегрузочных узлах ленточных конвейеров позволила выделить шесть основных групп конструктивно-технологических подходов (рис. 1).

Пылеподавление распылением. В авторском свидетельстве SU № 1456607 A1 [3] пена подаётся в кольцевой распределитель, равномерно покрывая сетчатый корпус укрытия. Снижение объёма аспирации составляет 20-40 %. Метод неприменим для слипающихся, химически активных и гигроскопичных материалов.

Инерционное пылеосаждение. В укрытии SU № 1458297 A1 [4] запылённый воздух закручивается винтовыми направляющими; частицы осаждаются центробежными силами - снижение аспирации 15-30 %. В патенте RU № 142259 U1 [5] обтекатель с эффектом Коанда обеспечивает аэродинамическую сепарацию двухфазного потока. Обе

конструкции требуют точной настройки и нестабильны при переменных режимах нагрузки.

Полная рециркуляция. В патенте RU № 2071568 C1 [6] воздух из кожуха проходит через рукавные фильтры, пыль регенерируется и возвращается в укрытие - снижение аспирации 60-80 %. Метод требует поддержания концентрации пыли в очищенном воздухе не выше 0,3 ПДК и существенно загромождает производственное пространство.

Частичная рециркуляция - естественная. В конструкции RU № 146813 U1 [7] эжектируемый воздух частично отводится через байпасную камеру обратно в верхний короб - снижение аспирации 30-50 %. Недостатки: высокая металлоёмкость и риск забивания перфорации при работе с влажными материалами.

Частичная рециркуляция - принудительная. В патенте RU № 161417 U1 [8] запылённый воздух подаётся вентилятором через циклон-пылеконцентратор обратно в желоб навстречу эжекционному потоку. Принудительная рециркуляция обеспечивает возврат 40-70 % объёмов аспирации, однако требует дополнительного вентиляторного агрегата и циклона.

Механические затворы и перегородки. Авторское свидетельство SU № 1451281 A1 [9] реализует принцип адаптивного регулирования проходного сечения с помощью шарнирной перегородки - снижение аспирации 20-40 %. Все механические решения несут системный недостаток: необходимость обеспечивать свободный проход материала принципиально исключает полную аэродинамическую герметизацию. Жёсткие контактные элементы интенсивно изнашиваются при работе с абразивными материалами, забиваются мелкими фракциями и в условиях повышенной влажности быстро теряют функциональность.

Воздушно-рециркуляционный затвор с эффектом Коанда. В мировой практике прослеживается тенденция к замене механических контактных элементов управляемыми воздушными потоками. Численное моделирование (k-ε модель турбулентности) показало, что при организации вихревого потока внутри укрытия концентрация пыли снижается со 116 мг/м³ до 4,1 мг/м³ (эффективность 96,1 %) при сокращении энергопотребления в 1,8-2,2 раза. Данные результаты подтверждают перспективность организации управляемых воздушных потоков внутри аспирационных укрытий.

Конструкция ВРЗ с рециркуляционными каналами Коанда. Авторами разработана и защищена Патентом РФ №217464 конструкция аспирационной системы с принудительной рециркуляцией. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

Принципиальное отличие предложенной конструкции от аналогов состоит в выполнении рециркуляционных каналов в распределителях 10 криволинейной формы с вогнутой поверхностью. Распределители расположены последовательно по ходу движения эжекционного воздуха на верхней грани перегрузочного желоба 3. Воздушно-пылевой концентрат, поступающий из циклона 7 по рециркуляционному воздуховоду 9, подаётся в желоб через эти каналы. Благодаря их криволинейной форме возвращаемая струя «прилипает» к верхней грани желоба, реализуя эффект Коанда.

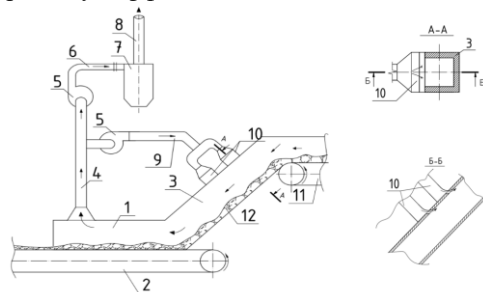


Рис. 2. Принципиальная схема аспирационной системы с воздушно-рециркуляционным затвором: 1 - нижнее аспирационное укрытие с коробом; 2 - нижний ленточный конвейер; 3 - перегрузочный желоб; 4 - аспирационный воздуховод; 5 - вентиляторы; 6 - напорный патрубок; 7 - циклон; 8 - патрубок отвода очищенного воздуха; 9 - рециркуляционный воздуховод; 10 - распределители воздушно-пылевого потока с рециркуляционными каналами; 11 - верхний ленточный конвейер; 12 - перегружаемый материал

Повышение аэродинамического сопротивления тракта «верхнее укрытие - желоб - нижнее укрытие» за счёт описанного механизма приводит к уменьшению требуемой производительности аспирационной системы и, как следствие, к снижению её энергопотребления при сохранении эффективной локализации пылевыведений. По результатам теоретического анализа ожидается снижение объёмов аспирируемого воздуха на 30-50 %.

Рециркуляция аспирируемого воздуха является наиболее перспективным направлением снижения энергопотребления: принудительная рециркуляция обеспечивает возврат 40-70 % объёмов аспирации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нейков, О. Д. Обеспыливание воздуха при производстве порошковых материалов / О. Д. Нейков, И. Н. Логачёв. — Москва : Металлургия, 1981. — 192 с.
2. Минько, В. А. Обеспыливание в литейном производстве / В. А. Минько. — Ленинград : Машиностроение, 1987. — 175 с.
3. А. с. 1456607 СССР, МПК E21F 5/00, B65G 21/00. Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала / М. И. Гримитлин, С. Н. Знаменский, Э. И. Бондарев [и др.] ; заявитель Пермский политехнический институт. — № 4271964/23-03 ; заявл. 30.06.1987 ; опубл. 07.02.1989, Бюл. № 5.
4. А. с. 1458297 СССР, МПК B65G 21/00. Аспирационное укрытие места загрузки ленточного конвейера / И. Н. Логачёв, В. В. Качанов, С. И. Задорожный, М. А. Чумачев ; заявитель Всесоюзный науч.-исслед. ин-т безопасности труда в горнорудной промышленности. — № 4230741/27-03 ; заявл. 15.04.1987 ; опубл. 15.02.1989, Бюл. № 6.
5. Пат. на полез. модель 142259 Рос. Федерация, МПК E21F 5/00. Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала / А. С. Семенов, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв [и др.] ; патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. — № 2014105607/03 ; заявл. 14.02.2014 ; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18.
6. Пат. 2071568 Рос. Федерация, МПК E21F 5/00, B65G 21/00. Аспирационное укрытие места перегрузки сыпучего материала, подаваемого на ленточный конвейер / В. П. Наумов, Б. Г. Моргун, В. А. Минко [и др.] ; патентообладатель Белгородская гос. технол. академия строит. материалов. — № 95103028/03 ; заявл. 02.03.1995 ; опубл. 10.01.1997, Бюл. № 1.
7. Пат. на полез. модель 146813 Рос. Федерация, МПК E21F 5/00. Аспирационное укрытие места перегрузки сыпучего материала / К. И. Логачёв, И. В. Крюков, О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв ; патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. — № 2014115752/03 ; заявл. 18.04.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29.
8. Пат. на полез. модель 161417 Рос. Федерация, МПК B65G 69/18, E21F 5/00. Укрытие с рециркуляцией аспирируемого воздуха / А. Б. Гольцов, Ю. Г. Овсянников, А. С. Семенов, А. В. Емельянов ; патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. — № 2015155408/03 ; заявл. 23.12.2015 ; опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11.
9. А. с. 1451281 СССР, МПК E21F 5/00. Аспирационное укрытие места выгрузки сыпучего материала / Н. Г. Абрамкин, В. А. Минко, С. В. Жаберов [и др.] ; заявитель Белгородский технол. ин-т строит.

материалов им. И. А. Гришманова. — № 4152702/22-03 ; заявл. 28.11.1986 ; опубл. 15.01.1989, Бюл. № 2.

УДК 004.8

Кирзеев В.В., Кумаритова А.С.

Научный руководитель: Грибова Е.В., доц.

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, Россия*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ: РОССИЙСКИЕ РЕАЛИИ И ИННОВАЦИИ

Искусственный интеллект в России переживает этап активного внедрения в информационные системы, трансформируя бизнес, госсектор и повседневную жизнь. От автоматизации документооборота до анализа больших данных - российские компании и стартапы на практике доказывают, что искусственный интеллект становится инструментом повышения эффективности и конкурентоспособности. В данной работе рассматриваются особенности внедрения технологий искусственного интеллекта в информационные системы в условиях российской экономики, а также выявление ключевых направлений их практического применения и ограничений.

В рамках настоящего исследования искусственный интеллект (ИИ) рассматривается как совокупность методов и технологий обработки данных, позволяющих автоматизированным системам выполнять задачи, требующие элементов когнитивной деятельности человека, включая анализ, обучение и принятие решений [1].

Современные подходы к разработке ИИ основаны преимущественно на алгоритмах машинного обучения, обеспечивающих адаптацию моделей к изменяющимся условиям на основе накопленного опыта и больших массивов данных. Например, нейронные сети, имитирующие работу человеческого мозга, учатся выявлять закономерности в информации, распознавать лица на фотографиях, прогнозировать финансовые тренды. Ключевой парадигмой современного ИИ является переход от жестко заданных правил к самообучающимся моделям, которые адаптируются к изменяющимся условиям. В структуре современных информационных систем технологии ИИ выполняют функцию интеллектуального ядра, обеспечивающего обработку данных, выявление закономерностей и поддержку принятия решений в условиях неопределенности [2].

Практическое внедрение технологий ИИ в российских организациях направлено прежде всего на автоматизацию типовых операций и снижение нагрузки на персонал. Например, голосовой помощник «Алиса» от Яндекса обрабатывает миллионы запросов пользователей от поиска информации до управления умным домом. По данным Сбербанка, внедрение интеллектуальных чат-ботов позволяет автоматизировать значительную долю клиентских обращений и снизить нагрузку на операторов контакт-центров [3]. Автоматизация документооборота также набирает обороты. Российская компания АBBYY, мировой лидер в области распознавания текстов, внедряет ИИ-решения для анализа договоров и извлечения ключевых данных. По данным АBBYY, внедрение технологий интеллектуального распознавания документов позволяет существенно ускорить обработку данных и снизить операционные издержки [4].

В сфере ИИ значительное место занимает аналитическая обработка данных, поступающих от пользователей и в ходе операционной деятельности. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет формировать персонализированные рекомендации, прогнозировать спрос и адаптировать цифровые сервисы под индивидуальные потребности пользователей. В результате повышается уровень вовлеченности аудитории и эффективность управления ресурсами. Киноплатформа «Иви» применяет машинное обучение для анализа зрительского поведения, что позволяет формировать персонализированные подборки контента и повышать лояльность аудитории. В сфере ритейла маркетплейс Wildberries использует алгоритмы прогнозной аналитики, чтобы оптимизировать управление запасами и предсказывать спрос на товары в разных регионах. Использование адаптивных образовательных платформ, таких как «Учи.ру», способствует повышению вовлеченности учащихся и улучшению образовательных результатов, что подтверждается исследованиями цифровых образовательных технологий [5,6].

Российские предприятия интегрируют ИИ в системы принятия решений. Алгоритмы оптимизации маршрутов, применяемые в логистических сервисах, позволяют снижать время доставки за счет учета дорожной ситуации и внешних факторов [7]. В промышленности госкорпорация «Росатом» внедряет ИИ-модели для прогнозирования износа оборудования на АЭС. Датчики собирают данные о температуре и вибрациях, а алгоритмы предупреждают о необходимости ремонта, снижая риск аварийных ситуаций. В сельском хозяйстве технологии компьютерного зрения и автономного управления позволяют повысить точность агротехнических операций и снизить влияние человеческого

фактора [8]. Российские компании-лидеры в области кибербезопасности, такие как «Лаборатория Касперского» и BL.ZONE, используют ИИ для обнаружения аномалий в сетевом трафике и предотвращения атак. Например, алгоритмы Kaspersky MLAD анализируют поведение пользователей, выявляя подозрительную активность в режиме реального времени.

Тем не менее, несмотря на активное развитие и внедрение ИИ, этические вопросы остаются актуальными. В 2022 году российские разработчики столкнулись с проблемой смещения данных в ИИ-моделях для HR-сферы: алгоритмы могли дискриминировать кандидатов по возрасту. Для решения этой задачи компании внедряют стандарты Explainable AI (XAI), как это делает Сбер в своих медицинских диагностических системах, где врачи получают пояснения к рекомендациям ИИ.

Российские облачные платформы, такие как Яндекс.Облако и SberCloud, обеспечивают масштабируемость ИИ-решений. Например, стартап «Нейрохирургия» использует SberCloud для обучения нейросетей, которые анализируют МРТ-снимки и помогают планировать операции. Edge AI набирает популярность в промышленности. Компания «Ростех» разрабатывает умные датчики для нефтепроводов, которые обрабатывают данные на месте, минимизируя задержки. Это позволяет мгновенно обнаруживать утечки и предотвращать экологические катастрофы.

Таким образом, развитие технологий искусственного интеллекта в России характеризуется переходом от локальных экспериментальных решений к системной интеграции в различные отрасли экономики. Их использование способствует повышению точности прогнозирования, оптимизации процессов и улучшению качества предоставляемых услуг. Вместе с тем дальнейшее развитие данной области требует решения комплекса задач, связанных с обеспечением прозрачности алгоритмов, подготовкой квалифицированных специалистов и формированием нормативной базы. Перспективы внедрения ИИ во многом определяются уровнем взаимодействия научного сообщества, бизнеса и государственных институтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Любимов А. П., Майстренко Г. А. Перспективы искусственного интеллекта в России и за рубежом // Философия науки и техники. — 2023. — № 1. — С. 45–60. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 25.04.2025).

2. Звонков В. Б. Об искусственном интеллекте // Решетневские чтения. — 2014. — № 18. — С. 120–125. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 27.04.2025).

3. Sberbank. Annual Report 2023. — URL: <https://www.sberbank.com> (дата обращения: 04.05.2026).

4. ABBYY. Intelligent Document Processing. — URL: <https://www.abbyy.com> (дата обращения: 04.05.2026).

5. Гаврилова Н. В. Цифровые образовательные платформы и их влияние на качество обучения // Образование и наука. — 2022. — № 5. — С. 34–42. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 04.05.2026).

6. Грибова Е. В., Кирзеев В. В., Кумаритова А. С. Особенности и перспективы развития информационно-коммуникационных технологий в образовании // Вклад технологического университета Таджикистана в реализацию ускоренной индустриализации страны: Материалы международного форума, посвящённого 35-летию со дня основания Технологического университета Таджикистана, Душанбе, 01 ноября 2025 года. — Душанбе: Технологический университет Таджикистана=Донишгохи технологии Тоҷикистон, 2025. — С. 283–285.

7. Киселев А. С. Применение алгоритмов оптимизации в логистике // Логистика и управление. — 2021. — № 3. — С. 22–30. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 04.05.2026).

8. Сидоров П. В. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Аграрная наука. — 2022. — № 4. — С. 15–21. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 04.05.2026).

УДК 621.179:004.932

Киященко В.В.

Научный руководитель: Ганигин С.Ю., д-р техн. наук, доц.
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА МИКРОСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Современные технологии получения композиционных покрытий предъявляют повышенные требования к качеству контроля структуры материалов и своевременному выявлению дефектов. Одним из наиболее информативных методов оценки состояния покрытий является анализ микроструктурных изображений, получаемых средствами электронной

микроскопии [1]. Традиционный визуальный анализ изображений оператором характеризуется высокой трудоёмкостью, субъективностью оценки и зависимостью результатов от квалификации специалиста.

Развитие методов компьютерного зрения и интеллектуальной обработки изображений позволяет автоматизировать процессы обнаружения дефектов, анализа структуры покрытия и формирования рекомендаций по корректировке параметров технологического процесса [2, 3]. Особый интерес представляет применение алгоритмов обнаружения и визуального сопровождения объектов, широко используемых в системах технического зрения и робототехнических комплексах [4–7].

В предлагаемом подходе микроструктурные дефекты рассматриваются как локализуемые визуальные объекты, для которых могут применяться методы обнаружения, классификации и анализа пространственного распределения. Использование подобных методов позволяет адаптировать современные алгоритмы компьютерного зрения к задачам автоматизированного контроля качества композиционных покрытий.

В данной работе рассматривается разработка элементов интеллектуальной системы поддержки принятия решений, предназначенной для автоматизированного анализа микроструктурных изображений и формирования рекомендаций по управлению качеством покрытий.

Основной задачей системы является автоматизированное обнаружение дефектных областей на микроструктурных изображениях, выделение информативных признаков структуры и формирование рекомендаций по корректировке параметров технологического процесса. К основным типам анализируемых дефектов относятся пористость, микротрещины, несплавленные частицы, дефекты адгезии и неоднородность структуры покрытия.

Новизна предлагаемого подхода заключается в адаптации алгоритмов обнаружения и визуального сопровождения объектов для анализа микроструктурных изображений композиционных покрытий с последующей интеграцией результатов в систему поддержки принятия решений.

Функциональная структура предлагаемой системы представлена на Рис. 1.

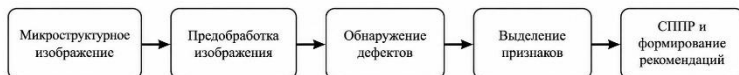


Рис. 1 Функциональная структура системы интеллектуального анализа микроструктурных объектов

Предлагаемая система включает взаимосвязанные модули предобработки изображений, обнаружения объектов, анализа признаков и поддержки принятия решений.

На этапе предобработки выполняются подавление шумов, коррекция контраста, адаптивная фильтрация и бинаризация изображения [1]. Данный этап обеспечивает повышение качества входных данных и снижение влияния помех, возникающих при получении микроструктурных изображений.

Для локализации дефектных областей используются алгоритмы обнаружения объектов на основе сверточных нейронных сетей [4, 7]. В качестве базовых архитектур могут применяться облегчённые модели семейства YOLO, обеспечивающие высокую скорость обработки изображений и достаточную точность локализации дефектов [5, 6]. Использование подобных архитектур позволяет реализовать анализ изображений в режиме, близком к реальному времени.

После обнаружения дефектных областей выполняется выделение информативных признаков, характеризующих состояние покрытия. К анализируемым параметрам относятся площадь дефекта, коэффициент формы, плотность распределения дефектных областей, текстурные характеристики и степень структурной неоднородности.

Пример локализации дефектных областей на микроструктурном изображении представлен на Рис. 2.

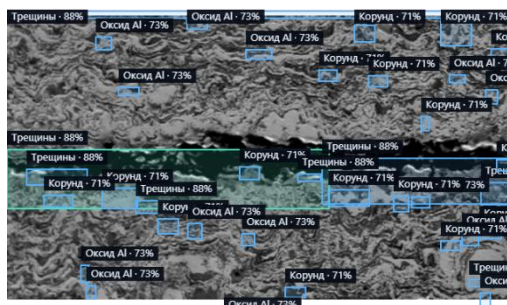


Рис. 2 Пример выделения дефектных областей на микроструктурном изображении

Для последовательного анализа изображений различных участков покрытия могут использоваться элементы визуального сопровождения объектов, обеспечивающие отслеживание изменений параметров дефектных областей между этапами анализа. Это позволяет учитывать пространственные особенности распределения дефектов и формировать более устойчивые оценки состояния покрытия.

Для формирования рекомендаций в системе поддержки принятия решений используется многокритериальная оценка состояния покрытия [8]. Интегральный показатель качества определяется следующим выражением:

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i \cdot k_i + \lambda \cdot S_d, \quad (1)$$

где Q – интегральная оценка качества покрытия;

w_i – весовой коэффициент i -го критерия;

k_i – нормализованное значение i -го параметра;

n – количество анализируемых критериев;

S_d – показатель пространственного распределения дефектов;

λ – коэффициент значимости распределения дефектных областей.

В качестве критериев оценки используются относительная площадь дефектов, средний размер пор, количество микротрещин, степень структурной однородности и коэффициент распределения включений.

Результаты анализа (табл. 1) применяются для выбора корректирующих воздействий на параметры технологического процесса, включая изменение режимов нанесения покрытия, характеристик газовой смеси и параметров обработки поверхности.

Таблица 1 – Пример оценки состояния покрытия

Параметр	Значение	Нормализованный показатель
Пористость	3,2 %	0,81
Количество трещин	5	0,74
Однородность структуры	0,88	0,88
Плотность включений	0,15	0,79

Разрабатываемый подход ориентирован на применение в интеллектуальных производственных системах контроля качества композиционных покрытий, включая автоматизированные линии газотермического и детонационного напыления.

В работе рассмотрен подход к разработке элементов интеллектуальной системы поддержки принятия решений для автоматизированного анализа микроструктурных объектов. Предложенная архитектура объединяет методы компьютерного зрения, алгоритмы обнаружения объектов и многокритериальный анализ результатов обработки изображений.

Использование алгоритмов визуального анализа позволяет повысить объективность оценки качества композитных покрытий, сократить время обработки микроструктурных изображений и снизить влияние человеческого фактора. Применение методов многокритериальной оценки обеспечивает возможность формирования рекомендаций по корректировке параметров технологического процесса.

Предлагаемый подход может быть использован при разработке интеллектуальных производственных систем контроля качества материалов и покрытий, а также при создании цифровых систем мониторинга состояния микроструктуры композиционных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № 125040404855-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. Tsai D.M., Hsieh C.Y. Automated surface inspection for directional textures // *Image and Vision Computing*. – 1999. – Vol. 18, № 1. – P. 49–62.
3. Kumar A. Computer-Vision-Based Fabric Defect Detection: A Survey // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2008. – Vol. 55, № 1. – P. 348–363.
4. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2017. – Vol. 39, № 6. – P. 1137–1149.
5. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // *arXiv preprint arXiv:1804.02767*. – 2018.
6. Bochkovski A., Wang C.-Y., Liao H.-Y.M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection // *arXiv preprint arXiv:2004.10934*. – 2020.

7. 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. – 2016. – P. 770–778.

8. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

УДК 629.735

Клименко М.А., Быценко М.В., Вычик В.П.

*Научный руководитель: Любимый Н.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИЛОВОЙ РАМЫ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Быстрое развитие рынка беспилотных авиационных систем (БАС) обусловило повышенные требования к массогабаритным характеристикам и надёжности конструктивных элементов [1]. Силовая рама мультироторного БПЛА выполняет функцию несущего каркаса, воспринимающего аэродинамические, инерционные и вибрационные нагрузки. Традиционные металлические рамы обладают избыточной массой, что снижает время полёта и полезную нагрузку. Переход на композитные материалы и аддитивные технологии требует предварительного прочностного обоснования геометрии, особенно в зонах концентрации напряжений [2, 3]. Целью данной работы является проектирование лёгкой силовой рамы квадрокоптера Х-схемы с последующим численным анализом напряжённо-деформированного состояния (НДС) и оптимизацией под аддитивное производство.

Объектом исследования является силовая рама квадрокоптера Х-образной компоновки с четырьмя лучами прямоугольного сечения и центральной платформой для размещения полётного контроллера, приёмника и системы питания (Рис. 1).

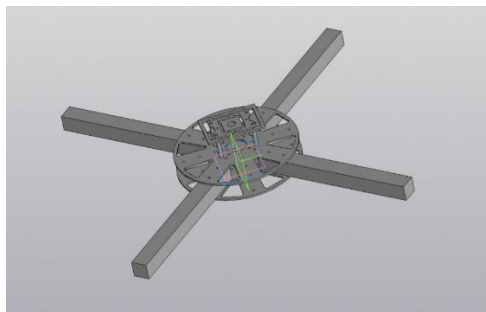


Рис. 1. 3D-модель силовой рамы квадрокоптера

Геометрические параметры конструкции: – размах по моторам: 450 мм; – длина луча: 225 мм от центра; – сечение луча: 20×10 мм; – диаметр центральной платформы: 120 мм; – толщина: 3 мм (верхняя), 4 мм (нижняя); – посадочные отверстия под двигатели: 4×М3.

Для анализа НДС использовался программный комплекс АПМ FEM, интегрированный в среду КОМПАС-3D. В качестве основного материала выбран углепластик на основе эпоксидной матрицы с характеристиками: модуль упругости $E=70$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,3$, предел прочности при растяжении $\sigma_b=650$ МПа, плотность $\rho=1600$ кг/м³ [4].

Граничные условия моделировались следующим образом: – статическая нагрузка: вертикальная сила, эквивалентная массе БПЛА (4,5 кг) с коэффициентом перегрузки 1,5; – динамическое воздействие: импульсная нагрузка до 5g, имитирующая жёсткую посадку или порыв ветра; – фиксация: защемление по плоскостям контактных втулок двигателей и нижней опорной площадки.

Сетка конечных элементов тетраэдрического типа с локальным сгущением в зонах радиусов и переходов (средний размер элемента 1,5 мм, минимум 0,5 мм в критических узлах). Общее количество элементов составило 125 000, узлов – 180 000.

Первоначальная версия рамы с прямоугольным сечением лучей продемонстрировала максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу $\sigma_{\text{экв}}=410$ МПа в зоне сопряжения луча с центральной платформой [5] (Рис. 2).

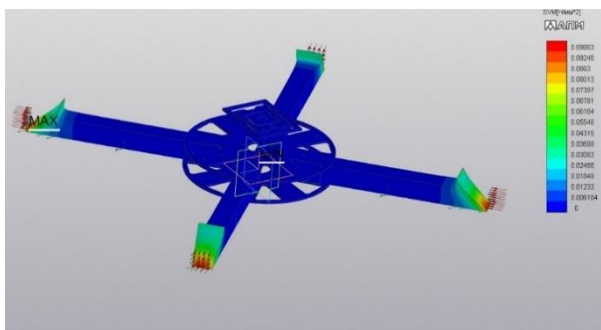


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений в исходной конструкции

Запас прочности составлял $n=1,58$, что удовлетворяет требованиям, однако масса конструкции (310 г) превышала целевое значение на 18 %.

Для снижения массы проведена топологическая оптимизация с ограничениями по объёму материала (коэффициент заполнения $\leq 0,35$) и минимальным размером элемента 2 мм (ограничение аддитивных технологий FDM или SLA). В результате сформирована решётчатая структура внутренней части лучей и скруглённые переходы радиусом $R=4$ мм в зонах максимального градиента напряжений.

Повторный расчёт оптимизированной модели показал снижение сэкв до 345 МПа при сохранении жёсткости на кручение и изгиб. Масса рамы уменьшилась с 310 г до 245 г. Распределение деформаций осталось равномерным, максимальный прогиб составил 1,8 мм при нагрузке 5g, что не приводит к нарушению соосности роторов.

Анализ результатов численного моделирования выявил следующие закономерности:

1. Зоны концентрации напряжений локализованы в переходах от лучей к центральной платформе, что требует обязательного скругления радиусом не менее 3–4 мм.
2. Применение решётчатой структуры позволяет снизить массу без критического уменьшения жёсткости на изгиб.
3. Максимальные деформации наблюдаются на концах лучей (до 2,1 мм), что находится в пределах допустимых значений для сохранения эффективности винтомоторной группы.
4. Запас прочности $n=1,88$ в оптимизированной конструкции обеспечивает надёжность при кратковременных перегрузках до 6g.

Полученная геометрия адаптирована для послойного синтеза.

Разработана конструкция силовой рамы мультироторного БПЛА X-схемы, оптимизированная методом конечных элементов. Численное

моделирование в АПМ FEM подтвердило соответствие конструкции эксплуатационным нагрузкам до 5g при запасе прочности $n \geq 1,8$. Применение топологической оптимизации позволило снизить массу на 21 % без потери жёсткости. Полученные параметры геометрии и рекомендации по аддитивному производству обеспечивают технологичность изготовления и готовность к натурным испытаниям. Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную верификацию НДС и оценку ресурса при циклических вибрационных нагрузках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу о создании беспилотных летательных аппаратов / А. В. Выговтов, А. В. Калач, А. А. Сазанова, Ю. М. Лебедев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 87-91.
2. Применение беспилотных авиационных систем в транспортно-логистическом комплексе региона / Н. С. Любимый, Б. С. Четвериков, И. В. Топилин, А. А. Феофилова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-3(87). – С. 134-142.
3. Биард, Р. У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Р. У. Биард, Т. У. МакЛэйн. — Москва: Техносфера, 2015. — 312 с. — ISBN 978-5-94836-393-6.
4. Проворов, И. С. Беспилотные летательные аппараты: учебник для вузов / И. С. Проворов. — Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2023. — 280 с.
5. Парафесь, С. Г. Проектирование конструкции и САУ БПЛА с учетом аэроупругости. Постановка и методы решения задач / С. Г. Парафесь, В. И. Смыслов. — Москва: Машиностроение, 2019. — 182 с.

УДК 338.2

Коваленко М.А.

*Научный руководитель: Пупенцова С.В., канд. экон. наук, доц.
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СУММЫ ЗАТРАТ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Ключевой фактор успеха при реализации проектов восстановления объектов культурного наследия (далее – ОКН) формируется на

предынвестиционной стадии. Именно на этом этапе обоснованный расчёт предстоящих расходов становится фундаментом для принятия инвестиционного решения. В отличие от нового строительства, сметное обоснование реконструкции ОКН характеризуется повышенной неопределённостью. Помимо усиления несущих конструкций, проекты такого типа включают реставрацию фасадных решений, сохранение историко-культурной ценности и проведение специализированных инженерных изысканий.

Указанные работы генерируют затраты, которые сложно нормировать типовыми методами. В этой связи построение модели прогнозирования суммы расходов на реконструкцию с опорой на данные объектов-аналогов представляет собой актуальную научно-практическую задачу [1].

Цель работы – определить объём капитальных вложений, необходимых для реконструкции здания – объекта культурного наследия – по адресу: г. Санкт-Петербург, Пионерская улица, дом 50, с учётом вариантов его последующего функционального использования.

Задачи исследования:

- формировать выборку объектов-аналогов с известными параметрами реконструкции;
- выявить зависимость между величиной удельных капитальных затрат (на 1 кв. м) и степенью физического износа зданий;
- рассчитать прогнозную стоимость реконструкции исследуемого объекта на основе регрессионного моделирования.

В работе применялись следующие методы: сравнительный и эмпирический анализ, регрессионное моделирование, метод парных сравнений объектов-аналогов.

Для вычисления стоимости реконструкции исследуемого ОКН использован методический подход, базирующийся на обработке данных по аналогичным объектам, по которым известны фактические затраты на проведённые восстановительные работы и текущий уровень физического износа.

На основе собранной информации построена регрессионная модель, описывающая взаимосвязь между двумя указанными параметрами [2–3]. Логика исследования включает следующие этапы: формирование базы аналогов; анализ корреляции между стоимостью реконструкции и процентом износа; построение уравнения регрессии; расчёт прогнозной величины затрат для целевого объекта [4].

В таблице 1 систематизированы данные по отобранным объектам-аналогам. Следует отметить, что в приведённые суммы затрат на реконструкцию, помимо непосредственно реставрационных работ,

включены расходы на приобретение и монтаж инженерных систем, вертикальную планировку участка и создание внешней инфраструктуры.

При построении регрессионной модели была использована стоимость затрат на кв. м. Наиболее значимым фактором, влияющим на стоимость реконструкции кв. м. объекта культурного наследия, является коэффициент физического износа здания.

Таблица 1 – Аналогичные объекты-реконструкции (составлено автором)

Название	Санкт-Петербург	Октябрьская	Площадка бывшего завода «Стальконструкция»	Средний пр, ВО, д. 40
Площадь, кв. м.	9 600	28 000	67 100	3 500
Стоимость реконструкции, руб.	450 000 000	1 200 000 000	6 500 000 000	350 000 000
Стоимость реконструкции на дату проведения работ, руб./кв. м.	46 875	42 857	96 870	100 000
Коэффициент перехода цен на дату оценки	1,68	1,1	1	1
Корректировка на площадь	1,08	1,19	1,29	0,99
Стоимость реконструкции на дату оценки, руб./кв. м.	85 050	56 100	125 101	98 999
Износ	0,75	0,65	0,82	0,85

Статистическая значимость данной взаимосвязи подтверждается значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,7544$), полученным в ходе регрессионного анализа (см. рис. 1) [5].

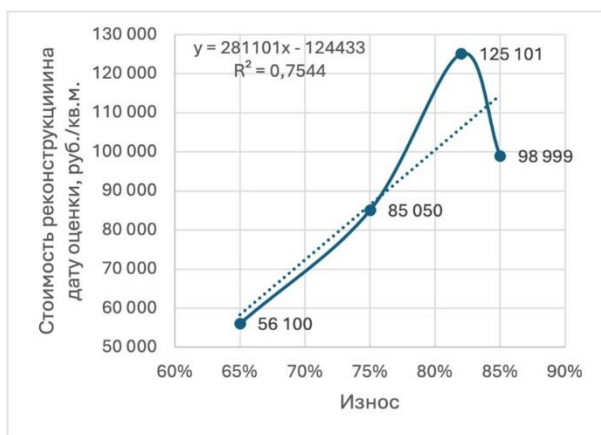


Рис. 1 – Регрессионная модель зависимости капитальных затрат на кв. м.
(составлено автором)

Полученное уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 281\,101 \times x - 124\,433 \quad (1)$$

где:

y – прогнозная стоимость реконструкции в расчёте на 1 кв. м, руб.;

x – коэффициент физического износа здания (в долях единицы).

Высокое значение $R^2 = 0,7544$ свидетельствует о том, что более 75% вариации удельных затрат объясняется различиями в степени износа объектов-аналогов, что подтверждает адекватность выбранной модели.

На основе полученного уравнения выполнен расчёт потребного объёма инвестиций для реконструкции конкретного ОКН – «Производственный корпус с водонапорной башней товарищества "Н. и В. Леонтьевы и Ко"».

По данным технического обследования, физический износ указанного здания составляет 75,3% ($x = 0,753$). Подставляя это значение в уравнение регрессии, получаем:

$$y = 281\,101 \times 0,753 - 124\,433 = 87\,236 \text{ руб./кв. м.} \quad (2)$$

Общая площадь здания равна 3 914,4 кв. м.

Следовательно, полная прогнозная стоимость реконструкции составит:

$$87\,236 \times 3\,914,4 = 341\,476\,805 \text{ рублей} \quad (3)$$

В результате выполнения исследовательской работы были решены следующие задачи. Сформирована репрезентативная выборка

объектов-аналогов, по которым имеются достоверные данные о затратах на проведённую реконструкцию. Выполнена корректировка стоимостных показателей аналогов к условиям даты оценки с применением соответствующих индексов перехода цен и поправочных коэффициентов на различие в площади. Построена однофакторная регрессионная модель, устанавливающая количественную зависимость между величиной удельных затрат на реконструкцию (руб./кв. м) и уровнем физического износа здания. Используя данную модель, рассчитана прогнозная стоимость реконструкции исследуемого объекта культурного наследия, которая составила 341 476 805 рублей. Учитывая неизбежные погрешности регрессионного моделирования, а также высокую степень неопределённости, присущую инвестиционно-строительным проектам на объектах культурного наследия, итоговую величину целесообразно округлить до 340 000 000 (трёхсот сорока миллионов) рублей.

Полученный результат может служить основой для предварительного технико-экономического обоснования инвестиций при принятии решения о реконструкции данного ОКН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеева, Н. С. Классификация недвижимости как фактор управления / Н. С. Алексеева, Г. Б. Латкин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2018. – Т. 6, № 9. – С. 62-68. – EDN YOFUVV.

2. Багаева, И. В. Риск-менеджмент в инвестиционно-строительной сфере / И. В. Багаева, С. В. Пупенцова, Е. Р. Осадчая // Естественно-гуманитарные исследования. – 2025. – № 3(59). – С. 764-769. – EDN JIRICH.

3. Глухов, В. В. Формирование концепции холистического управления активами и стоимостью организаций в условиях экономической нестабильности / В. В. Глухов, С. В. Пупенцова // п-Есоному. – 2024. – Т. 17, № 6. – С. 125-144. – DOI 10.18721/JE.17608. – EDN FDLABP.

4. Пупенцова, С. В. Особенности развития объектов недвижимости в историческом центре города / С. В. Пупенцова, П. Р. Ларионова // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 10. – С. 492-495. – EDN TIGAEV.

5. Пупенцова, С. В. Технологии риск-менеджмента при управлении стоимостью предприятий / С. В. Пупенцова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2025. – 168 с. – ISBN 978-5-7422-9082-7. – EDN JIYOYC.

Козлов И.О., Калмыков Н.Н.

*Московский государственный институт международных отношений
(университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации,
г. Москва, Россия*

ЦИФРОВАЯ ДОСТУПНОСТЬ МАССОВЫХ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНОЙ ИНКЛЮЗИИ

Переход государственных, образовательных, медицинских и банковских услуг в онлайн-среду принято связывать с ростом удобства и снижением организационных барьеров. Однако наличие электронного сервиса еще не означает, что он одинаково доступен для разных групп пользователей. Сайт или приложение могут быть открыты технически, но оставаться труднопроходимыми из-за мелкого шрифта, перегруженной структуры, неочевидной навигации, сложных форм, слабой мобильной версии или невозможности выполнить действие без мыши. Поэтому цифровизация способна не только расширять доступ к услуге, но и создавать новые формы исключения.

Наиболее уязвимы слабовидящие пользователи, люди, использующие скринридеры и клавиатурную навигацию, пожилые граждане, пользователи смартфонов и лица с невысоким уровнем цифровой грамотности. Для них интерфейс является не элементом оформления, а условием самостоятельного доступа к услуге. Если человек не может без посторонней помощи записаться к врачу, найти учебную информацию, подать заявление или перейти к финансовой операции, причина затруднения связана не только с индивидуальными навыками, но и с устройством цифровой среды.

Цель работы — выявить типовые интерфейсные барьеры, возникающие при использовании массовых онлайн-сервисов и повышающие риск цифрового исключения. Метод исследования — сценарный мини-аудит доступности. При отборе критериев учитывались Web Content Accessibility Guidelines 2.2, материалы Web Accessibility Initiative и положения ГОСТ Р 52872-2019 о доступности электронно-цифровой информации и пользовательских интерфейсов [1–4]. Теоретически работа опирается на понимание цифрового неравенства как многоуровневого явления: важен не только сам доступ к интернету, но и возможность уверенно пользоваться социально значимыми сервисами [5, 6].

Эмпирическую базу составили семь онлайн-сервисов из четырех сфер: портал «Госуслуги», сайт ФНС России, сайт РТУ МИРЭА, сервис

«Дневник.ру», портал mos.ru в сценарии записи к врачу, а также банковские сервисы Сбер и Т-Банк [7–13]. Выборка сформирована с учетом социальной значимости, массовости использования и различия институциональных контекстов. Через подобные платформы граждане получают доступ к государственным заявлениям, налоговой информации, образовательным данным, медицинским и финансовым услугам.

Для каждого сервиса были определены типовые сценарии: поиск государственной услуги, вход в личный кабинет, поиск налогового сервиса, получение информации для абитуриентов и студентов, просмотр учебных данных, запись к врачу, оформление банковского продукта и переход к управлению личным кабинетом. Оценка проводилась по десяти критериям: контраст, размер шрифта, понятность кнопок и ссылок, навигация с клавиатуры, видимость фокуса, текстовые альтернативы для визуальной информации, структура и читабельность, мобильная адаптация, понятность ошибок и форм, работоспособность при масштабировании до 200 %. Каждый критерий оценивался по шкале от 0 до 2 баллов; максимум по одному сервису составлял 20 баллов.

Основная фиксация проводилась 11.05.2026 в сопоставимых технических условиях: Windows 11, разрешение 1920×1080, браузер Microsoft Edge на движке Chromium, режим мобильной эмуляции. Дополнительно применялись keyboard-only test с использованием Tab, Shift+Tab и Enter, проверка масштабирования и визуальная оценка структуры страниц. Анализ проводился по открытым страницам и типовым маршрутам. В авторизованных сценариях не фиксировались и не включались в материалы исследования персональные данные, сведения о пользователях и содержимое личных кабинетов. Работа не является полным техническим аудитом соответствия WCAG или ГОСТ; ее задача — выявить пользовательские барьеры в выбранных сценариях.

Таблица 1. Сводная оценка доступности исследуемых сервисов

Сервис	Тип	Балл	Интерпретация
Госуслуги	гос.	14	отдельные барьеры
ФНС России	гос.	9	повышенный риск
РТУ МИРЭА	образ.	8	повышенный риск
Дневник.ру	образ.	8	повышенный риск
mos.ru	мед.	16	отдельные барьеры
Сбер	банк	17	выше сценарная доступность
Т-Банк	банк	17	выше сценарная доступность

Наиболее высокие оценки получили банковские сервисы. Их преимущество связано с короткими пользовательскими маршрутами, крупными визуальными элементами, устойчивой мобильной адаптацией и заметными целевыми действиями. При этом высокие баллы не означают полной инклюзивности: ограничения сохраняются в области не визуальной доступности, клавиатурной навигации, видимости фокуса и поддержки вспомогательных технологий.

Среди государственных сервисов более высокий результат показал портал «Госуслуги»: в базовых сценариях его структура достаточно предсказуема, а ключевые действия визуально различимы. При проверке сайта ФНС России были отмечены информационная плотность, конкуренция справочных и целевых элементов, а также менее очевидный маршрут к нужному действию. Образовательные платформы в выбранных сценариях показали признаки повышенного риска цифрового исключения из-за сочетания представительских, информационных и сервисных функций, высокой плотности блоков и дополнительной нагрузки на пользователя. Медицинский сценарий на mos.ru получил сравнительно высокую оценку, поскольку запись к врачу построена как последовательный маршрут с понятной целью, хотя обработка ошибок и прохождение сценария без мыши остаются значимыми зонами внимания.

Сравнительный анализ позволил выделить несколько устойчивых барьеров. Первый — мелкий шрифт и визуальная плотность, особенно важные для слабовидящих и пожилых пользователей. Второй — сложная структура и избыток переходов, повышающие риск дезориентации для людей с низкой цифровой грамотностью. Третий — ограниченная клавиатурная навигация и недостаточно заметный фокус, что существенно для пользователей клавиатуры и скринридеров. Четвертый — нестабильность мобильного сценария. Пятый барьер связан с ошибками в формах: если система не объясняет, что именно заполнено неверно, пользователь теряет уверенность и может отказаться от завершения действия.

Полученные данные позволяют рассматривать интерфейс массового онлайн-сервиса как элемент социальной архитектуры. Он распределяет не только удобство, но и автономию пользователя, время выполнения действия и зависимость от посредников. Один и тот же сервис может быть удобным для цифрово уверенного человека и одновременно труднопроходимым для пользователя с низкой цифровой грамотностью, сниженным зрением или небольшим опытом работы с электронными услугами.

Практическое значение исследования состоит в том, что доступность следует учитывать как обязательный параметр проектирования массовых сервисов. Для государственных платформ приоритетны сокращение лишних переходов, повышение читаемости справочных блоков и развитие клавиатурной навигации. Для образовательных сервисов важны разделение представительских и сервисных функций, снижение визуального шума и переработка мобильных версий. Для медицинских сервисов особенно значимы простота записи и понятная обработка ошибок. Для банковских платформ актуально сохранить сильную визуальную и мобильную логику, одновременно развивая невизуальную доступность.

Исследование имеет ограничения. Выборка включала семь сервисов, а оценка проводилась в формате сценарного мини-аудита без участия реальных пользователей из групп риска и без полного автоматизированного анализа технической разметки. Поэтому результаты не следует трактовать как исчерпывающую сертификационную оценку доступности или юридическую оценку соответствия сервисов обязательным требованиям. Вместе с тем они позволяют выявить устойчивые зоны риска и показать, что интерфейсные решения имеют социальные последствия.

Таким образом, цифровая среда не является нейтральной. Она либо снижает социальные барьеры, позволяя гражданину самостоятельно получать значимые услуги, либо воспроизводит неравенство в новом интерфейсном виде. Повышение доступности массовых онлайн-сервисов является не только задачей дизайна и программной разработки, но и инструментом социальной инклюзии, равного доступа к значимым услугам и повышения качества взаимодействия граждан с ключевыми общественными институтами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 [Электронный ресурс] / W3C. — W3C Recommendation. — URL: <https://www.w3.org> (дата обращения: 12.05.2026).
2. Understanding WCAG 2.2 [Электронный ресурс] / W3C Web Accessibility Initiative. — URL: <https://www.w3.org> (дата обращения: 12.05.2026).
3. Evaluating Web Accessibility Overview [Электронный ресурс] / W3C Web Accessibility Initiative. — URL: <https://www.w3.org> (дата обращения: 12.05.2026).

4. ГОСТ Р 52872-2019. Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Приложения для стационарных и мобильных устройств, иные пользовательские интерфейсы. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 37 с.

5. Воронина Н. С. Гендерный аспект цифрового неравенства в России: результаты эмпирического анализа // Мир России. — 2023. — Т. 32, № 3. — С. 52–74. — DOI: 10.17323/1811-038X-2023-32-3-52-74. — URL: <https://mirros.hse.ru> (дата обращения: 12.05.2026).

6. Шевченко О. М. Цифровое неравенство в современном российском обществе: уровни и социальные последствия // Гуманитарий Юга России. — 2023. — Т. 12, № 1. — С. 54–65. — DOI: 10.18522/2227-8656.2023.1.4. — URL: <https://www.jour.fnisc.ru> (дата обращения: 12.05.2026).

7. Портал государственных услуг Российской Федерации [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.gosuslugi.ru/> (дата обращения: 12.05.2026).

8. Федеральная налоговая служба Российской Федерации [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.nalog.gov.ru/> (дата обращения: 12.05.2026).

9. МИРЭА — Российский технологический университет [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.mirea.ru/> (дата обращения: 12.05.2026).

10. Дневник.ру — цифровая образовательная платформа [Электронный ресурс]. — URL: <https://dnevnik.ru/> (дата обращения: 12.05.2026).

11. Портал mos.ru. Запись к врачу [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.mos.ru> (дата обращения: 12.05.2026).

12. Сбер. Частным клиентам [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.sberbank.ru> (дата обращения: 12.05.2026).

13. Т-Банк [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.tbank.ru/> (дата обращения: 12.05.2026).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ

Необходимость прогнозирования в технических процессах связано с тем, что современные технические системы характеризуются стремительным ростом сложности, высокой степенью автоматизации и критичностью к отказам. Однако эффективное управление техническими системами без достоверного прогнозирования их поведения становится принципиально невозможным.

Прогнозирование отказов промышленного оборудования – это процесс научно обоснованного предсказания будущих состояний объекта или явления на основе анализа имеющейся информации о его прошлом и настоящем поведении [3]. Один из методов прогнозирования будущего состояния технологического объекта определяется на основе изучения статических данных наблюдаемых процессов, поэтому теория случайных процессов является фундаментальным математическим аппаратом, который изучает закономерности стохастических явлений в динамике их развития [1].

Особое место среди методов прогнозирования занимают скрытые марковские модели (СММ), позволяющие описывать системы с ненаблюдаемыми состояниями. Такой метод предназначен для оценки текущего состояния объекта по наблюдаемым данным. Основная задача при этом состоит в анализе последовательности наблюдений за техническим оборудованием для определения наиболее вероятной скрытой последовательности его состояний во времени. В рамках данной работы осуществлена модификация данного метода – на основе полученного распределения вероятностей состояний и матрицы переходов реализован механизм прогнозирования будущих состояний объектов.

Для решения такой задачи прогнозирования необходимо найти:

1. Вероятность того, что через k шагов система окажется в состоянии s_j , при условии имеющихся наблюдений до момента t и заданной модели λ :

$$P(x_{t+k} = s_i | O_{1:T}, \lambda), \text{ где } k = 1, 2, \dots, K. \quad (1)$$

Это распределение позволяет оценить вероятности всех возможных состояний системы на заданном временном промежутке.

2. Время T_j , через которое система впервые окажется в состоянии s_j с вероятностью не ниже заданного порога $P_{\text{порог}}$, определяется как минимальное значение k , удовлетворяющее условию:

$$T_j = \min\{k: P(x_{t+k} = s_j | O_{1:T}, \lambda) \geq P_{\text{порог}}\}. \quad (2)$$

Данная величина позволяет планировать момент превентивного вмешательства до наступления критического события.

3. Ожидаемое время до наступления отказа представляет собой математическое ожидание случайной величины T_j . Оно вычисляется как:

$$E[T_j] = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P(T_j = k), \quad (3)$$

где $P(T_j = k)$ – вероятность того, что отказ наступит впервые именно на шаге k .

Для определения текущего вероятностного распределения состояний системы на основе последовательности наблюдений будем использовать специальный алгоритм, который состоит из последовательных этапов.

На начальном этапе необходимо определить вероятность совместного события: последовательность наблюдений $o_1, o_2, \dots, o_t$ и нахождение системы в состоянии s_i в момент времени t :

$$a_t(i) = P(o_1, o_2, \dots, o_t, x_t = s_i | \lambda). \quad (4)$$

Данная вероятность вычисляется рекуррентно, что позволяет эффективно обрабатывать последовательности любой длины.

Инициализация (для момента времени $t = 1$):

$$a_1(i) = \pi_i \cdot b_i(o_1), \quad (5)$$

где π_i – начальные вероятности состояний s_i , $b_i(o_1)$ – вероятность наблюдения o_1 в состоянии s_i .

Индукционный переход (для $t = 2, \dots, T$):

$$a_t(j) = [\sum_{i=1}^N a_{t-1}(i) \cdot a_{ij}] \cdot b_j(o_t). \quad (6)$$

На следующем этапе необходимо вычислить вероятность наблюдения будущей последовательности $o_{t+1}, \dots, o_T$ при условии нахождения в состоянии s_i в момент времени t :

$$\beta_t(i) = P(o_{t+1}, \dots, o_T | x_t = s_i, \lambda) \quad (7)$$

Инициализация (для момента времени $t = T$):

$$\beta_t(i) = 1. \quad (8)$$

Индукционный переход назад по формуле (7) будет определен как (для $t = T - 1, \dots, 1$):

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} \cdot b_j(o_{t+1}) \cdot \beta_{t+1}(j). \quad (9)$$

Данное выражение учитывает все возможные переходы из текущего состояния s_i в состояние s_j на следующем шаге, вероятность наблюдения o_{t+1} в состоянии s_j и дальнейшую будущую последовательность, определяемую $\beta_{t+1}(j)$.

Апостериорная вероятность нахождения системы в состоянии s_i в момент времени t при условии всей последовательности наблюдений $O_{1:T} = (o_1, o_2, \dots, o_T)$ вычисляется как нормированное произведение прямой и обратной переменных:

$$\gamma_t(i) = P(x_t = s_i | O_{1:T}, \lambda) = \frac{a_t(i) \cdot \beta_t(i)}{P(O | \lambda)}, \quad (10)$$

где $P(O | \lambda)$ – полная вероятность наблюдений всей последовательности. Из (10) получаем, что:

$$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N a_T(i) = \sum_{i=1}^N a_t(i) \cdot \beta_t(i), \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (11)$$

Для любого момента времени t должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^N \gamma_t(i) = 1. \quad (12)$$

Вектор $\gamma_t = [\gamma_t(1), \gamma_t(2), \dots, \gamma_t(N)]^T$ представляет собой текущее распределение вероятностей состояний системы в момент времени t , учитывающее всю информацию – как прошлые наблюдения $o_1, o_2, \dots, o_t$, так и будущие $o_{t+1}, \dots, o_T$.

Так же вектор γ_T – распределение вероятностей для последнего момента наблюдений. Именно это распределение используется в качестве начального условия для прогнозирования будущих состояний системы:

$$\gamma_{\text{текущее}} = \gamma_T. \quad (13)$$

Для систем, где критическим событием является отказ, целевое состояние часто моделируется как поглощающее. В этом случае матрица переходов имеет блочную структуру, позволяющую разделить работоспособные и неработоспособные состояния:

$$A = \begin{bmatrix} Q & R \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где:

- Q – подматрица переходных вероятностей между M работоспособными состояниями;
- R – вектор вероятностей перехода из каждого работоспособного состояния в поглощающее состояние отказа;
- 0 – нулевой вектор;
- 1 – вероятность того, чтобы остаться в состоянии отказа.

Пусть γ_t – это вектор текущего распределения, усеченный до M работоспособных состояний (вероятность нахождения в отказе на момент прогноза исключается, так как цель – предсказать его

наступление), тогда вероятность отказа в течение шагов k определяется по формуле:

$$F(k) = P(\text{отказ через } \leq k) = \gamma_t^T \cdot (I - Q^k) \cdot (I - Q)^{-1} \cdot R, \quad (15)$$

где:

1. Матрица Q^k содержит вероятности остаться в множестве работоспособных состояний через k шагов.

2. Матрица $(I - Q^k)$, таким образом, представляет собой вероятности покинуть множество работоспособных состояний за k шагов (т. е. перейти в отказ).

3. Умножение на $(I - Q)^{-1}$ (фундаментальная матрица марковской цепи) суммирует вероятности по всем возможным путям, ведущим к отказу.

4. Умножение на R учитывает финальный шаг – непосредственный переход в отказ.

5. Умножение на γ_t необходимо для оценки матрицы вероятностей с учетом текущего распределения по состояниям [4].

Описанный выше алгоритм был реализовали на языке C++ в среде Visual Studio. Экранная форма программного средства представлена на рисунке 1.

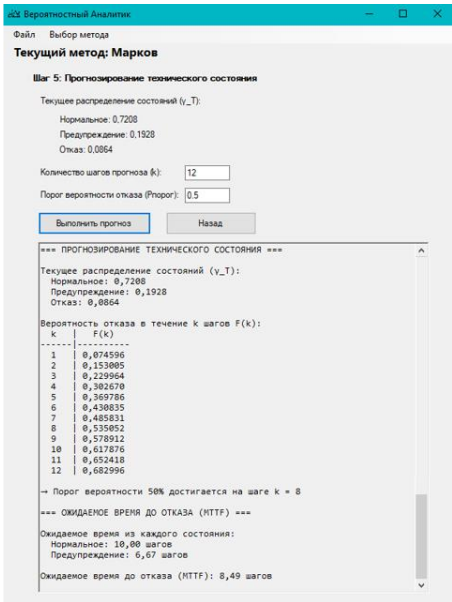


Рис. 1. Экранная форма для прогнозирования технического состояния оборудования

Существенным достоинством программы является настраиваемая организация данных: пользователь задает произвольное число состояний и типов наблюдений под конкретный производственный объект. Ввод данных сопровождается автоматической проверкой: сумма элементов строк матрицы переходов между состояниями, должна быть равна единице.

Последовательное применение рассмотренного выше алгоритма и аппарата марковских цепей позволяет не только оценивать наиболее вероятные будущие состояния, но и вычислять ключевые показатели надежности. К таким показателям можно отнести вероятность отказа на заданном промежутке времени и ожидаемое время его наступления. Это позволит перейти от реактивного обслуживания к предиктивному управлению ресурсом оборудования.

Такие численные расчёты демонстрируют полный цикл прогнозирования технического состояния на основе СММ: от фильтрации текущего состояния по наблюдениям до расчета вероятностей будущих отказов и формирования на их основе объективных, количественно обоснованных рекомендаций для системы технического обслуживания и ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов А.В. Надежность и диагностика технологических систем : учебное пособие. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 148 с.
2. Луценко О.В., Кокнов Н.С. Инструмент экспертной оценки и прогнозирования отказов технологического оборудования // Научные технологии и инновации (XXVI научные чтения) : [Электронный ресурс] : сборник докладов международной научно-практической конференции. – Белгород : БГТУ, 2025. – С. 523–527.
3. Никищенко А.Н. Полумарковская модель покомпонентного контроля скрытых отказов в двухкомпонентной системе // Вестник СевГТУ. – Севастополь, 2013. – Вып. 14. – С. 40–45.
4. Чугреев В.Л., Баданин Д.А. Использование прогнозной аналитики в информационно-аналитических системах поддержки принятия решений // Молодой ученый. – 2016. – № 6. – С. 49–52.

Колесников В.Д.

*Научный руководитель: Кабаляц П.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КОМПОНЕНТ

Активное развитие инженерных дисциплин в последние десятилетия усилило значимость задач обработки и анализа технической документации. Многие автоматизированные системы, ориентированные на работу с чертежами, включают в себя этапы оцифровки, классификации и распознавания объектов. В связи с этим возрастает потребность в моделях, способных эффективно решать указанные задачи.

В общем случае технические чертежи подразделяются на две категории: аналоговые, получаемые посредством сканирования или фотографирования бумажных носителей, и цифровые, формируемые в системах автоматизированного проектирования. Для каждой категории применяются различные подходы к обработке данных. Так, аналоговые изображения, как правило, требуют этапа предварительной обработки, тогда как для цифровых изображений данный этап зачастую может быть опущен [1].

Задачи классификации и распознавания обычно решаются с использованием специализированных нейросетевых архитектур, таких как R-CNN, SSD, YOLO и др. [2–6]. Однако достижение высокой точности в подобных задачах, как правило, связано с необходимостью обучения на масштабных наборах данных, что усложняет применение подобных методов в условиях ограниченных ресурсов и недостаточного объёма обучающей выборки.

Одним из подходов к решению вышеописанной проблемы является применение моделей, обеспечивающих более глубокую и комплексную обработку информации о чертеже по сравнению с традиционными алгоритмами классификации. Это позволяет повысить точность распознавания при использовании сопоставимых объёмов данных и, как следствие, снизить требования к размеру обучающей выборки.

В настоящей работе предлагается комплексная модель классификации, включающая три взаимодополняющие нейросетевые

компоненты: рекуррентную подсистему распознавания текста, свёрточную подсистему распознавания объектов и модуль анализа информации, содержащейся в штампе чертежа. Результаты работы указанных компонентов агрегируются и формируют взвешенный вектор признаков, на основе которого выполняется итоговая классификация. Схема предлагаемой модели представлена на рисунке 1.

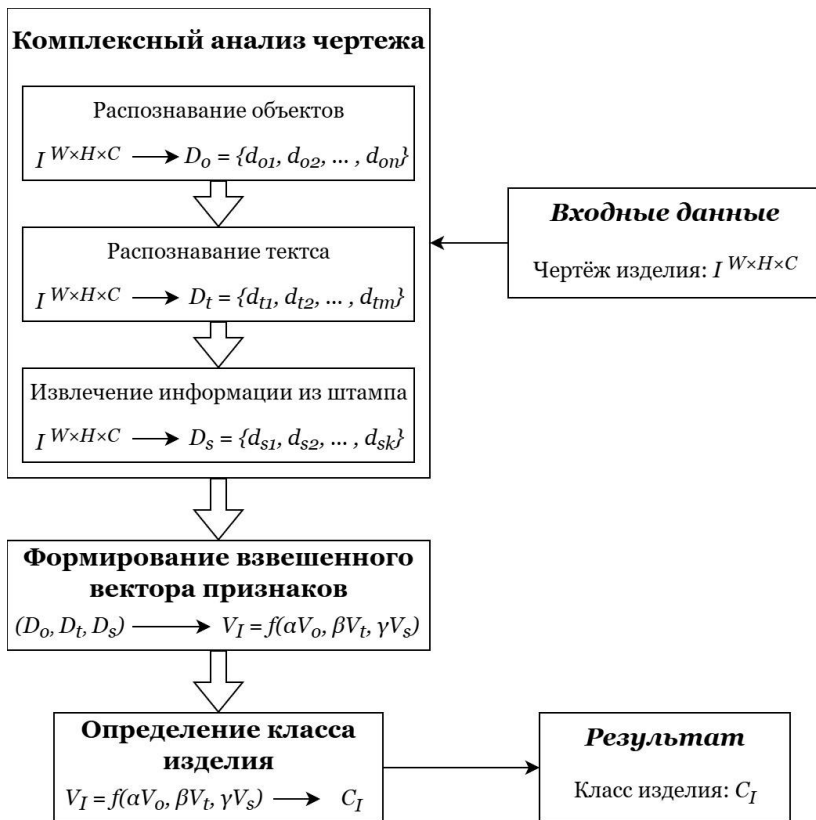


Рис. 1. Структура комплексной модели классификации чертежей

Входное изображение чертежа представляется в виде тензора $I^{W \times H \times C}$, где W и H – пространственные размеры изображения, C – число цветовых каналов. В отличие от подходов, использующих единый классификатор для всего изображения, предлагается схема последовательной обработки с применением трёх специализированных

нейросетевых компонент, каждая из которых ориентирована на извлечение определённого типа информации.

Свёрточная компонента, реализованная на основе алгоритма YOLO [4, 7], выполняет распознавание ключевых объектов на чертеже, включая геометрические элементы, текстовые области и штамп. Результатом её работы является множество обнаруженных объектов $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$, где каждый элемент описывается классом и ограничивающим прямоугольником. Все классы объектов условно разделяются на три группы: детали, текстовые элементы чертежа и текстовые элементы штампа. При этом текстовые категории представлены единым классом «текстовая строка», тогда как множество классов деталей может включать такие объекты, как отверстия, пластины, валы и др. Множество D затем декомпозируется на три подмножества:

- 1) детали изделия $D_o = \{d_{o1}, d_{o2}, \dots, d_{on}\}$;
- 2) текстовые элементы чертежа $D_t = \{d_{t1}, d_{t2}, \dots, d_{tn}\}$;
- 3) текстовые элементы штампа $D_s = \{d_{s1}, d_{s2}, \dots, d_{sn}\}$.

Для множеств D_t и D_s выполняется распознавание текста с использованием рекуррентной архитектуры CRNN [8], что позволяет сопоставить каждому текстовому объекту его строковое представление. Для элементов штампа дополнительно учитываются их координаты на изображении, что обеспечивает контекстную интерпретацию в соответствии с нормативами оформления, установленными ГОСТ.

В результате формируются три согласованных набора данных: D_o , D_t и D_s , которые далее преобразуются в соответствующие векторы признаков: V_o , V_t и V_s . Итоговое представление формируется посредством взвешенной агрегации:

$$(D_o, D_t, D_s) \rightarrow V_l = f(\alpha V_o, \beta V_t, \gamma V_s) \quad (2)$$

где коэффициенты α , β и γ задают относительную значимость каждой компоненты. Полученный вектор V_l подаётся на вход классификатора, формирующего итоговый класс изделия C_l на чертеже.

Предложенная модель обеспечивает повышение точности классификации за счёт интеграции текстовой и структурной информации, которая в традиционных свёрточных архитектурах либо используется ограниченно, либо игнорируется. Дополнительный эффект достигается за счёт явного управления вкладом различных типов признаков посредством весовых коэффициентов, что позволяет адаптировать модель к специфике рассматриваемых данных.

Результаты сравнительного анализа, приведённые в таблице 1, демонстрируют прирост точности классификации по сравнению с

классическими подходами при использовании идентичных обучающих выборок.

Таблица 1. Значения точности распознавания классов изделий на изображениях чертежей для ряда моделей, %

Модель	Размер конфигурационного датасета				
	50	100	200	350	500
AlexNet	19.63	25.15	31.97	39.74	48.56
ResNet	26.77	33.86	42.05	51.39	62.08
MobileNet	23.36	29.83	37.53	46.42	56.45
EfficientNet	27.91	35.11	43.64	53.76	65.86
ViT	29.34	36.18	44.32	54.03	64.89
SwinT	30.25	38.87	48.86	59.85	71.58
ComplexCM	36.58	49.13	63.77	78.82	91.51

По результатам проведённого исследования установлено, что применение комплексной модели классификации (обозначенной как ComplexCM), основанной на интеграции нескольких нейросетевых компонент, обеспечивает повышение точности распознавания изделий на цифровых изображениях технических чертежей по сравнению с классическими подходами. Достижимый эффект обусловлен совместным использованием признаков различных типов, а также возможностью регулирования их вклада в итоговое решение.

С учётом полученных результатов модель может быть рекомендована к внедрению в автоматизированные системы обработки технических чертежей в виде самостоятельного расширяемого модуля. Такая реализация допускает последующее наращивание функциональности за счёт интеграции этапов предварительной обработки, постобработки и дополнительных аналитических процедур, ориентированных на повышение качества извлекаемой информации и расширение спектра решаемых задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Moysis, L. Automatic recognition of engineering drawings: A review / L. Moysis, D. Sarigiannidis // Journal of Engineering Design. — 2020. — № 5. — С. 301–323.
2. Girshick, R. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation / R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik //

Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2014. — № 1. — С. 580–587.

3. Ren, S. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks / S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2017. — № 6. — С. 1137–1149.

4. Redmon, J. You Only Look Once: Unified, real-time object detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2016. — № 1. — С. 779–788.

5. Liu, W. SSD: Single Shot MultiBox Detector / W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, A. C. Berg // European Conference on Computer Vision. — 2016. — № 1. — С. 21–37.

6. He, K. Deep residual learning for image recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2016. — № 1. — С. 770–778.

7. Ultralytics. (2025) Ultralytics YOLO Docs. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.ultralytics.com/> (дата обращения: 24.04.2026)

8. Shi, B. An end-to-end trainable neural network for image-based sequence recognition and its application to scene text recognition / B. Shi, X. Bai, C. Yao // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2017. — № 11. — С. 2298–2304.

УДК 629.735.05:004.89

Колобков Г.Ю.

*Московский государственный технический университет гражданской
авиации, г. Москва, Россия*

ПРОБЛЕМА ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ АВИАНИКИ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Рост сложности цифровых бортовых систем приводит к увеличению числа трудно воспроизводимых событий, фиксируемых в эксплуатации, но не подтверждаемых при наземной проверке [2]. Для технической эксплуатации авионики это означает дополнительные затраты на поиск причин отказа, повторные демонтажно-монтажные операции и снижение эффективности обслуживания [5]. В этой группе особое место занимают перемежающиеся отказы, поскольку они могут

возникать в полёте, исчезать на земле и тем самым формировать ситуации No Fault Found (NFF, дефект не подтвержден при контроле).

Перемежающимся отказом считают временную утрату функции или характеристики изделия с последующим восстановлением работоспособности без явного корректирующего воздействия [1]. По данным исследований, доля неподтверждённых отказов для авионики может составлять от 20 до 50 %, а одной из главных причин таких случаев являются именно перемежающиеся отказы [3]. Следовательно, задача их выявления требует перехода от изолированной пороговой диагностики к анализу многомерных эксплуатационных данных.

Для авионики характерны перемежающиеся отказы, связанные с тепловым циклированием, вибрацией, деградацией разъемов, пайки, нестабильностью питания и кратковременными сбоями в каналах передачи данных [1]. Их ключевая особенность состоит в эпизодичности: отказ проявляется на ограниченном временном интервале, после чего функция частично или полностью восстанавливается. Штатная наземная проверка нередко не выявляет дефект, а эксплуатационный персонал сталкивается с необходимостью анализа журналов сообщений и повторных событий.

Организационным следствием становится ситуация NFF, когда снятый блок не демонстрирует подтверждённого дефекта при контроле. Такие события приводят не только к технической неопределённости, но и к логистическим потерям, росту времени простоя воздушного судна и усложнению принятия решений по дальнейшему обслуживанию [2]. Поэтому перемежающиеся отказы следует рассматривать как важный объект интеллектуального анализа в системе технической эксплуатации авионики [5].

Традиционные встроенные средства контроля и штатные наземные проверки наиболее эффективны при устойчивых отказах и выраженных превышениях порогов. При кратковременных нарушениях, зависящих от режима полёта, нагрузки, температуры и вибрации, их возможности ограничены: событие может быть зафиксировано в одном полётном эпизоде и полностью отсутствовать во время последующего теста [3].

Дополнительная проблема состоит в том, что классическая диагностика преимущественно анализирует отдельные сообщения или отдельные параметры. При этом перемежающийся отказ часто проявляется как слабое согласованное отклонение по нескольким каналам одновременно. Следовательно, для повышения качества обнаружения требуется анализ временной структуры сигналов, предыстории режима и повторяемости эпизодов [4].

Интеллектуальный анализ данных целесообразно строить как дополнительный диагностический контур, который оценивает отклонение текущего поведения системы от эталонного режима.

Пусть $x_i(t)$ – измеренное значение i -го параметра в момент времени t , $\bar{x}_i(t)$ – его расчётное или прогнозируемое значение, $\sigma_i > 0$ – масштабный нормирующий коэффициент для данного параметра, например, стандартное отклонение на исправной выборке, робастная оценка разброса или допустимое эксплуатационное отклонение, а $w_i \geq 0$ – весовой коэффициент диагностической значимости признака при условии $\sum_{i=1}^n w_i > 0$. Веса w_i могут задаваться на основе экспертных оценок диагностической значимости параметра, анализа чувствительности модели или оптимизации на исторических данных. Тогда безразмерный интегральный остаточный диагностический признак может быть записан в виде:

$$S_t = \frac{\sum_{i=1}^n w_i d_i(t)}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad d_i(t) = \frac{|x_i(t) - \bar{x}_i(t)|}{\sigma_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Величина S_t отражает степень аномальности наблюдаемого состояния. При этом она не смешивает напрямую параметры с разными физическими единицами измерения, так как каждое отклонение предварительно нормируется. Если веса заранее нормированы так, что $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, знаменатель в формуле (1) может быть опущен. Порог θ целесообразно определять по распределению S_t на исправных данных, например, как квантиль $Q_{1-\alpha}(S)$, либо по валидационной выборке с заданным ограничением на вероятность ложной тревоги, а не задавать его произвольно. Однако для перемежающегося отказа недостаточно однократного превышения порога, так как единичный всплеск может быть вызван помехой. Поэтому анализируется число эпизодов превышения порога в скользящем окне длиной m :

$$z_t = \sum_{k=t-m+1}^t I(S_k > \theta) \quad (2)$$

Здесь $I(\cdot)$ – индикаторная функция, а m – число дискретных отсчётов в окне наблюдения. Если шаг регистрации параметров равен Δt , то физическая длительность окна равна $T_w = m\Delta t$. Поэтому выбор m должен учитывать частоту записи данных Aircraft Condition Monitoring System (ACMS, система мониторинга состояния воздушных судов) и характерное время проявления перемежающегося отказа. Если

количество эпизодов достигает установленного порога повторяемости r , причём $1 \leq r \leq m$, то формируется решение о наличии перемежающейся аномалии:

$$y_t = I(z_t \geq r), \quad 1 \leq r \leq m \quad (3)$$

Порог повторяемости r выбирается с учётом допустимого баланса между пропуском дефекта и ложным срабатыванием. Увеличение r повышает устойчивость к одиночным шумовым выбросам, но может снижать чувствительность к коротким отказовым эпизодам. Для ранжирования событий по риску пороговая схема (1) – (3) может быть дополнена вероятностной оценкой. Обозначим через A_k событие превышения порога в момент k , то есть $A_k = \{S_k > \theta\}$, а через $\mathcal{H}_{t-m}$ – предысторию наблюдений до начала рассматриваемого окна. Так как соседние отсчёты авиационных временных рядов обычно автокоррелированы, вероятность появления хотя бы одного аномального эпизода в окне следует записывать не через произведение независимых маргинальных вероятностей, а через цепное правило условной вероятности:

$$P_t = 1 - \prod_{k=t-m+1}^t (1 - q_k) \quad (4)$$

где:

$$q_k = P(A_k | \mathcal{H}_{t-m}, A_{t-m+1}^c, \dots, A_{k-1}^c)$$

В формуле (4) q_k означает условную вероятность возникновения аномального эпизода в момент k при условии отсутствия более ранних эпизодов в рассматриваемом окне и с учётом предыстории измерений. Такая форма записи связывает вероятностную оценку с пороговой схемой (1)–(3) и не требует предположения о независимости соседних отсчётов. Если модель выдаёт только маргинальные оценки $p_k = P(A_k | \mathcal{H}_{k-1})$, то выражение $1 - \prod_{k=t-m+1}^t (1 - p_k)$ допустимо лишь как приближение при слабой зависимости и после калибровки вероятностей на валидационной выборке. Источником оценок $\bar{x}_i(t)$ и q_k могут выступать статистические модели, автоэнкодеры, рекуррентные нейронные сети или гибридные алгоритмы. Формулы (1) – (3) используются для бинарного диагностического решения, а формула (4) – для оценки уровня риска и приоритизации дальнейших проверок. Для авиационного предиктивного обслуживания это особенно важно, поскольку обнаружение редких отказов на данных ACMS связано с несбалансированностью выборок и сложной временной структурой сообщений [4].

Использование интеллектуального анализа данных позволяет перейти от реактивной оценки отдельного сообщения к анализу истории изменения параметров и частоты повторения эпизодов. Это повышает обоснованность локализации дефекта, снижает число необоснованных замен и создаёт предпосылки для более точного планирования проверок [2; 3].

Для авиапредприятия такой подход может способствовать снижению доли NFF, уменьшению простоев воздушных судов. Следовательно, интеллектуальный анализ должен рассматриваться как инструмент развития всей системы технической эксплуатации авионики, а не только как локальное средство распознавания аномалий [5].

Перебегающие отказы авионики являются одной из наиболее сложных проблем технической эксплуатации, поскольку их проявление носит кратковременный и повторяющийся характер. Традиционные диагностические процедуры не всегда позволяют надёжно выявлять подобные события, тогда как интеллектуальный анализ эксплуатационных данных делает возможным учёт временной структуры сигналов, повторяемости эпизодов и оценки риска развития неисправности во времени. Поэтому дальнейшее развитие интегрированных систем управления техническим состоянием (ИСУТС) и предиктивных методов технического обслуживания должно быть связано с внедрением аналитических контуров, объединяющих бортовой мониторинг, анализ временных рядов и инженерную интерпретацию результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Qi H., Ganesan S., Pecht M. No-fault-found and intermittent failures in electronic products // *Microelectronics Reliability*. 2008. Vol. 48, no. 5. P. 663–674. DOI: 10.1016/j.microrel.2008.02.003.

2. Khan S., Phillips P., Jennions I., Hockley C. No Fault Found events in maintenance engineering Part 1: Current trends, implications and organizational practices // *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. Vol. 123. P. 183–195. DOI: 10.1016/j.ress.2013.11.003.

3. Raza A., Ulansky V. Modelling of false alarms and intermittent faults and their impact on the maintenance cost of digital avionics // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 16. P. 107–114. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.171.

4. Dangut M. D., Jennions I. K., King S., Skaf Z. A rare failure detection model for aircraft predictive maintenance using a deep hybrid learning

approach // Neural Computing and Applications. 2023. Vol. 35, no. 4. P. 2991–3009. DOI: 10.1007/s00521-022-07167-8.

5. Кузнецов С. В. Система технической эксплуатации авионики и научные основы её формирования // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 6. С. 15–24. DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-15-24.

УДК 004.032.84

Коломыцева С.В., Усачев Д.В., Минасова В.Е.

Научный руководитель: Маслова И.В, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОКОЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОВ. IV ПОКОЛЕНИЕ ЭВМ.

Электронная вычислительная машина, компьютер — комплекс технических средств, предназначенных для автоматической обработки информации в процессе решения вычислительных и информационных задач.

Поколение ЭВМ — это исторически сложившийся этап развития вычислительных машин, классифицируемый на основе качественного скачка в элементной базе, что влечет за собой кардинальные изменения в их архитектуре, производительности, надежности, сфере применения и экономической эффективности. Несмотря на мнение об условности данной периодизации, она объективна и отражает реальные технологические революции. Переход между поколениями детерминирован появлением новых фундаментальных компонентов (например, интегральных схем), а не субъективной оценкой. Неточности в классификации связаны скорее с обобщающим характером самого термина. В дальнейшем изложении будет конкретизирована хронологию и ключевые атрибуты каждого поколения. Выделяют 5 основных поколений ЭВМ.

Первое поколение (1940-е — середина 1950-х):

ЭВМ: положили начало электронно-вакуумные лампы (Рис 1). Именно на этой основе создавались первые гигантские вычислительные машины, которые занимали целые залы и потребляли колоссальное количество энергии. Их работа была крайне ненадежной — лампы часто перегорали, а скорость вычислений не превышала нескольких тысяч операций в секунду. Программирование велось на уровне машинных кодов, что делало процесс невероятно сложным. Эти компьютеры-исполины применялись почти исключительно для решения узкого круга научно-исследовательских и военных задач.



Рис. 1. Электронные вакуумные лампы

Второе поколение (конец 1950-х — середина 1960-х):

Данный этап стал возможен благодаря транзисторам (Рис. 2). Транзистор кардинально изменил облик вычислительной техники: машины стали значительно компактнее, надежнее и экономичнее. Их быстродействие возросло до сотен тысяч операций в секунду. В этот период произошло важнейшее событие — появились первые языки программирования высокого уровня, такие как Фортран и Кобол, а также прообразы современных операционных систем. Это позволило использовать компьютеры не только для науки, но и для управления бизнес-процессами, выводя их в сферу экономики.

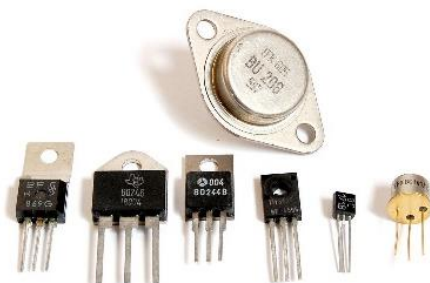


Рис. 2. Примеры транзисторов

Третье поколение (середина 1960-х — середина 1970-х):

Третье поколение компьютеров, появившееся в 1960-х годах, характеризуется использованием интегральных схем вместо транзисторов, что значительно уменьшило размеры машин и повысило их быстродействие до миллионов операций в секунду; эти компьютеры обладали развитой операционной системой с возможностями мультипрограммирования и тайм-шерингом, позволявшими одновременную работу нескольких пользователей, а также были программно совместимыми в рамках семейств, например IBM

System/360, что обеспечило стандартизацию и широкое распространение; в устройствах третьего поколения появились новые интерфейсы — дисплеи и клавиатуры, увеличился объем оперативной памяти до сотен тысяч слов, а для хранения данных применялись магнитные диски и ленты(Рис. 3).



Рис. 3. Микросхема (интегральная схема)

Четвёртое поколение (с середины 1970-х по настоящее время):

Создание *микропроцессора* стало определяющим фактором поколения. революция породила самый массовый феномен в истории вычислительной техники — персональный компьютер (Рис. 4). ЭВМ окончательно превратилась из специализированного инструмента в доступный товар для широких масс, что изменило мировую экономику и общество. Скорость обработки данных достигла миллиардов операций в секунду, а развитие графических интерфейсов и глобальных сетей сделало компьютер универсальным центром работы, общения и развлечений.

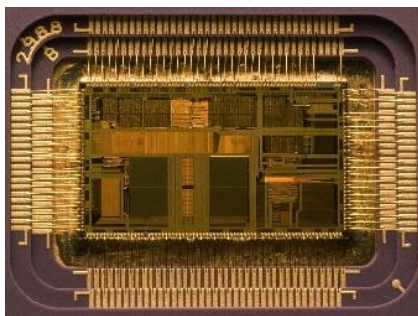


Рис. 4. Микропроцессор

Пятое поколение (с середины 1980-х по настоящее время; находится на стадии исследования):

Элементной базой по-прежнему служат СБИС, главная цель этого этапа — создание интеллектуальных систем, а не просто мощных калькуляторов. Исследования сконцентрированы на технологиях искусственного интеллекта: машинном обучении, распознавании речи и образов, понимании естественного языка. Параллельно ведутся работы над совершенно иной архитектурой, в частности, над квантовыми компьютерами, которые обещают решать задачи, недоступные даже самым современным суперкомпьютерам. Пятое поколение компьютеров остаётся самым актуальным в настоящее время.

IV поколение компьютеров

Стоит отметить, что наиболее революционным поколением является именно четвертое, как дающее возможность пользования ЭВМ обывателю. Более того, этот период развития ЭВМ является наиболее близким к нашему времени окончательно сформированным и наиболее влиятельным. Четвёртое поколение актуально до сих пор, так как непрерывно создаются всё более совершенные компоненты компьютера, увеличивающие вычислительную мощность.

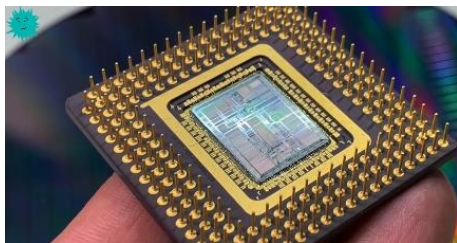


Рис. 5. Микропроцессор

Как отмечено ранее, данный этап развития неразрывен с понятием микропроцессора, который является основополагающим нововведением этапа.

Микропроцессор — процессор (устройство, отвечающее за выполнение арифметических, логических операций и операций управления, записанных в машинном коде), реализованный в виде одной микросхемы БИС/СБИС или комплекта из нескольких специализированных микросхем (в отличие от реализации процессора в виде электрической схемы на элементной базе общего назначения (микросхемы, транзисторы) или в виде программной модели) (Рис. 5).

При этом чётко выделяют два основных направления развития компьютеров четвёртого поколения:

1-ое направление — создание суперЭВМ. СуперЭВМ (суперэлектронно-вычислительная машина) — это вычислительная машина, относящаяся к классу электронных вычислительных машин с наивысшей производительностью, достигаемой на данном этапе развития технологий, предназначенная для решения сложных научно-технических задач (в соответствии с ГОСТ 15971-90). Она представляет собой высокопроизводительный комплекс, обычно состоящий из множества взаимодействующих процессоров, обеспечивающий максимально быстрые параллельные вычисления. Быстродействие таких машин достигает нескольких миллиардов операций в секунду. Они способны обрабатывать огромные массивы информации. Сюда входят комплексы ILLIAS-4, CRAY, CYBER, «Эльбрус-1», «Эльбрус-2» и др. «Эльбрус-2» эксплуатировались в Центре управления космическими полетами, в ядерных исследовательских центрах. Наконец, именно комплексы "Эльбрус-2" с 1991 года использовались в системе противоракетной обороны и на других военных объектах.

2-ое направление — дальнейшее развитие на базе БИС и СБИС микро-ЭВМ и персональных ЭВМ (ПЭВМ). Первыми представителями этих машин являются Apple, IBM - PC (XT, AT, PS /2), «Искра», «Электроника», «Мазовия», «Агат», «ЕС-1840», «ЕС-1841» и др. Персональный Компьютер - компьютер, специально созданный для работы в однопользовательском режиме. Появление персонального компьютера прямо связано с рождением микрокомпьютера. Очень часто термины «персональный компьютер» и «микрокомпьютер» используются как синонимы. Помимо ноутбуков, к переносным микрокомпьютерам относят и карманные компьютеры — палмтопы. Основными признаками ПК являются шинная организация системы, высокая стандартизация аппаратных и программных средств, ориентация на широкий круг потребителей.

Примеры компьютеров IV поколения:

DEC 10; STAR 1000; PDP 11; CRAY-1(Super Computer); CRAY-X-MP (Super Computer)

Четвертое поколение компьютеров появилось благодаря переходу на микропроцессоры. Оно не только привело к технологическому прорыву, но и задало стандарт архитектуры, который до сих пор лежит в основе всей вычислительной техники. Важность этого поколения заключается в том, что оно определило развитие технологий на долгие годы вперед. Даже современные прорывы — такие как облачные вычисления, искусственный интеллект и квантовые компьютеры — не

отменяют эти принципы, а развивают их. Таким образом, четвертое поколение — это не просто этап истории, а основа, на которой до сих пор строятся все компьютерные системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маслова, И.В. Физическое моделирование восстановительной обработки крупных деталей с нестационарной осью вращения / И.В. Маслова, А.В. Хуртасенко, Р.Г. Ястребов // Междунар. научно-технич. конф. молодых ученых БГТУ им. Шухова. — Белгород: Изд-во Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, - 2012. — Ч. 3 - С. 76-79.

2. Посыпкин, М.А. Анализ и классификация реабилитационных робототехнических систем на базе параллельных манипуляторов / М.А. Посыпкин, С.Ю. Халяпин, И.В. Маслова, В.А. Мамаев, Л.Г. Вирабян // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2020. - №1. - С. 85-94.

3. Белевич, П.А. Понятия «ЭВМ» и «программа для ЭВМ» в законодательстве Российской Федерации в сфере информационных технологий / П.А. Белевич. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — №40 (278). — С. 90-92.

4. Хуртасенко, В.А. Определение и анализ погрешности формы поверхности крупногабаритной детали по отпечатку проецируемой фигуры / А.В. Хуртасенко, К.П. Шипилов, И.П. Шипилов, И.В. Маслова // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов VII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. - Старый Оскол: Изд-во ООО «Ассистент плюс», 2014. - Т.1. - С. 297-302.

5. Информатика. Технические средства: учеб. пособие / В.И. Пономаренко, Е.Е. Лапшева. - Саратов: Научная книга, 2009. – 212 с.

6. Эволюция вычислительных систем: учеб. пособие /. И.И. Кочегаров, А. В. Полтавский, Н. К. Юрков. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. - 124 с.

АНАЛИЗ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ САОЗ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР- 1200

В докладе рассмотрены активная и пассивная часть системы аварийного охлаждения активной зоны реакторной установки ВВЭР-1200. На примере максимально проектных аварий, анализируется работа пассивной и активной части САОЗ. Показано, как последовательный ввод в работу САОЗ гарантирует перевод реактора в режим расхолаживания.

В современных проектах АЭС, особое внимание уделяют обеспечению глубокоошелонированной защиты ядерного реактора. При максимально проектных авариях, таких как разрыв трубопровода первого контура, нельзя допускать потерю теплоносителя из корпуса реактора, тем самым оголяя тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ). Для поддержания уровня воды в реакторе и отведения тепловыделений ТВЭЛ, существует система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ). Данная система состоит из активной и пассивной частей, последняя в свою очередь состоит из гидроемкостей 1 и 2 ступеней. Активная часть используется не только в аварийных режимах, но и в плановом расхолаживании блока.

При большой течи трубопровода первого контура, давление и уровень стремительно падают. Практически сразу вступает в работу пассивная часть САОЗ, независимая от питания электричеством или сотрудника станции. При падении давления ниже 5,9 МПа, через обратный клапан самотеком поступает борированная вода с гидроемкостей 1 ступени. Давление в гидроемкостях задается азотной подушкой, а водой их заполняют через систему продувки-подпитки.[1] Одна половина гидроемкостей присоединена к нижней части реактора, а вторая к верхней, чтобы не дать перегреться верхней части ТВЭЛ. Для равномерного залива активной зоны, гидроемкости, которые присоединены к нижней части реактора находятся выше, чем те, которые присоединены к верхней части. Нельзя допускать попадание азота в первый контур, поэтому на трубопроводе слива воды с гидроемкостей, установлен быстродействующий клапан.[2] Только эта

система сможет быстро начать поддерживать уровень воды, так как насосам из-за инерционной передачи сигнала, пуска и прокачки воды, нужно большее время. Вторая ступень гидроемкостей подключается при давлении первого контура ниже 2,0 МПа, цель данной системы длительное и равномерное охлаждение зоны.

Активная часть САОЗ, или ее другое название система аварийно-планового расхолаживания, запускается при низком давлении первого контура, ниже 2,1 МПа.[3] Всего 3 канала активной части САОЗ: рабочий, резервный и 1 может находиться в ремонте. Если продолжать рассматривать прорыв трубопровода, то вода будет стекать в специальный бак-гидроаккумулятор через специальную сетку, не допуская попаданий посторонних предметов. Этот бак изначально должен быть заполнен водой с концентрацией борной кислоты 16 г/дм³, для возможности поддержания уровня воды в реакторе насосами, так как не вся вода с прорванного трубопровода сможет попасть в бак. Внутри бака вода проходит фильтр, дальше поступает в теплообменник, где передает свое тепло технической воде. Техническая вода в свою очередь передает тепло атмосфере, через брызгательные бассейны. Тем временем вода после прохождения через теплообменник насосом подается обратно в контур, выполняя функции: отведение тепловыделений и поддержание уровня теплоносителя.

Таким образом, даже при очень серьезных авариях, связанных с прорывом трубопровода, энергоблок с реакторной установкой ВВЭР-1200, возможно остановить и перевести в режим расхолаживания. Была рассмотрена активная и пассивная часть САОЗ, каждая часть выполняет определенную функцию и включаются в работу последовательно, тем самым дополняют друг друга, тем самым исключая риск разрушения активной зоны. Это позволяет утверждать, что российские АЭС обладают огромным запасом надежности при практически любых аварийных ситуациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронов, А. Н. Применение систем JNG пассивной части САОЗ для энергоблоков с реакторами ВВЭР-ТОИ и ВВЭР-1200 / А. Н. Воронов, М. Ю. Угаров // Тепловые и ядерные энерготехнологии: Двдцатая всероссийская (Двенадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 17–19 марта 2025 года. Том 2. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2025. – С. 24. – EDN DVVYAS.

2. Калякин, С. Г. Теплогидравлика пассивных систем безопасности АЭС с ВВЭР: специальность 05.14.03 "Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Калякин Сергей Георгиевич. – Обнинск, 2008. – 32 с. – EDN NKJOCL.

3. Сорокин, В. В. Эффективность рекомбинаторов водорода РВК в условиях тяжёлой аварии на энергоблоке проекта АЭС-2006 / В. В. Сорокин // Энергетик. – 2025. – № 3. – С. 20-22. – DOI 10.71527/EP.EN.2025.03.005. – EDN JQLZOM.

УДК 338.2

Костикова В.В.

Научный руководитель: Земскова И.А., ст. преп.

*Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия*

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТАМОЖЕННОЙ СЛУЖБЫ

Текущая внешнеполитическая ситуация поставила перед Федеральной таможенной службой новые задачи в сфере информационных технологий. О мерах, которые предпринимаются для их оперативного решения, и дальнейших планах цифровизации таможенных органов [8].

Внедрение информационных технологий в управление государственными структурами значительно улучшило их организацию. Современное программное обеспечение обеспечивает точное отслеживание КРІ и критических показателей на каждом этапе проекта, что позволяет мониторить выполнение задач и минимизировать риск задержек. Интегрированные системы автоматического сбора данных обеспечивают актуальность информации и предупреждают о рисках несвоевременного завершения работ. Это способствует более оперативному прохождению процедур согласования, повышает ответственность исполнителей и ведет к уменьшению бюрократических препон.

Каждый год через систему Аппарата Правительства обрабатывается около 2 миллионов документов, среди которых нормативные акты, предложения федеральных законов, а также отзывы и заключения по вопросам депутатских инициатив. Обработка такого количества документации требует не только точности и оперативности,

но и строгого соблюдения установленных сроков, что достигается благодаря применению цифровой управленческой модели [4].

Для внедрения новой системы, Правительство автоматизировало взаимодействие с таможенными документами, в результате чего была разработана и введена система электронного документооборота (СЭД).

Сейчас более 90% всех документов в аппарате Правительства доступны в цифровом формате, тогда как в 2020 году этот уровень достигал лишь 35%. Ранее большинство из них представляло собой просто сканированные версии бумажных документов, которые фактически являлись лишь визуальными репликами оригиналов. Такие сканы не включали структурированные данные, что значительно ограничивало возможности по их анализу и обработке в системах управления документами [1].

Введение новой системы электронного документооборота (СЭД) позволяет создавать документы в электронной форме изначально, избегая необходимости их бумажного копирования. Эти документы обладают структурированной информацией, что облегчает работу государственных структур с ними: организация и каталогизация выполнена по таким параметрам, как дата, номер документа, тип, подразделение и содержание. Кроме того, доступен контроль за процессом согласования документов и отслеживание задействованных исполнителей.

Благодаря применению цифровых технологий значительно улучшились скорость и качество обработки документации. Среднее время на согласование документов за последние пять лет уменьшилось в три раза и составляет теперь один день. Кроме того, время на подготовку и выпуск нормативных документов сократилось в 48 раз, теперь занимая всего 15 минут [5].

С началом 2025 года в Российской Федерации применяются обновленные меры, разработанные в контексте усиления цифровой трансформации таможенных операций. Федеральная таможенная служба внедрила ряд технологических нововведений для повышения эффективности процессуальной работы, включая автоматизацию процедур, оптимизацию времени обработки деклараций и усовершенствование взаимодействия их информационных платформ с системами других госорганов [7].

Ряд инноваций, запланированных на 2026 год:

Универсальный электронный документооборот (ЭДО-ВЭД). Экспортно-импортные операции оформляются полностью в цифровом виде. Электронные накладные, товарно-сопроводительные документы

интегрированы с ФТС. Внедрено единое API для автоматического обмена с банками, логистами, РЭЦ, сертификационными органами.

Автоматическая обработка таможенных деклараций. Более 60% деклараций на экспорт и 40% на импорт теперь обрабатываются без прямого вмешательства таможенного инспектора, что способствует ускорению процесса. Среднее время оформления сократилось до 1,5 часа, в то время как ранее это занимало от 18 до 36 часов.

Платформа «Цифровой Экспортёр» объединяет усилия РЭЦ и Минцифры, предоставляя экспортерам инструмент для заявок на логистические услуги, страхование, сертификацию, оформление сделок и расчёт экспортных субсидий. Также платформа интегрирована с банковскими системами для обеспечения валютного контроля.

Обновленная версия платформы «Мой экспорт» включает интеграцию с Федеральной таможенной службой и Федеральной налоговой службой. Это обновление упрощает мониторинг процесса декларации в режиме онлайн и автоматизирует создание отчетов для валютного контроля. Теперь документы можно передавать напрямую в банк через API, избегая необходимости их повторной загрузки [10].

В контексте выполнения "Стратегии-2030" ФТС инициирует структурные изменения в центральном аппарате, целью которых является усиление результативности деятельности за счет формирования инновационной таможенной службы, опирающейся на применение искусственного интеллекта и внедрение цифровых решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева, Л. В. Правовое регулирование маркировки товаров средствами идентификации в электронной форме // Юрист. — 2019. — № 3. — С. 20–27.

2. Ворона, А. А., Яковлев, К. В. Совершенствование таможенного администрирования как фактор развития таможенных органов на современном этапе // Учёные записки Санкт-Петербургского имени В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. — 2019. — № 1 (69). — С. 17–21.

3. Гузова, Е. А. Цифровая маркировка товаров в ЕАЭС: проблемы и риски // Цифровизация таможенных отношений в ЕАЭС: перспективы развития, проблемы, решения : сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции / под ред. С. А. Овсянникова, Н. А. Мошкиной. — 2019. — С. 45–49.

4. Евразийская экономическая комиссия. Евразийский экономический союз. Вопросы и ответы. Цифры и факты. — URL: (дата обращения: не указана). — Текст : электронный.

5. Каурина, О. С., Кривушина, О. А. О маркировке товаров контрольными (идентификационными) знаками в РФ // Век качества. — 2019. — № 4. — С. 167–183.

6. Лисова, Т. С. Роль механизма прослеживаемости товаров в системе таможенного контроля после выпуска товаров // Тихоокеанская Россия на экономико-политической карте мира : сборник научных трудов / под общ. ред. М. В. Ниязовой. — 2019. — С. 84–88.

7. Логинова, А. С. Таможенные платежи : учебное пособие. — СПб. : Троицкий мост, 2021. — 152 с.

8. Официальный сайт Федеральной таможенной службы Российской Федерации. — URL: (дата обращения: не указана). — Текст : электронный.

9. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (Приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза). — URL: (дата обращения: не указана). — Текст : электронный.

10. Трегубов, А. Н. Создание системы прослеживаемости как меры противодействия незаконному ввозу товаров // Таможенное дело. — 2019. — № 3. — С. 16–18.

УДК 624.075

¹Крутикова М.А., ²Серых В.Д.

*¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

*²Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия*

ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Современные мостовые сооружения представляют собой ключевые элементы транспортной инфраструктуры, бесперебойная работа которых критически важна для социально-экономической стабильности. Выход из строя такого объекта способен повлечь масштабные экономические потери и создать угрозу безопасности населения. В связи с этим особое значение приобретает оценка живучести мостовых стержневых конструкций, которая заключается в

способности системы сохранять или быстро восстанавливать свои основные функции после возникновения локальных повреждений или внезапных запроектных воздействий.

Традиционные методы расчета живучести мостов базируются на анализе отдельных групп предельных состояний: по прочности, устойчивости, деформациям и так далее [1]. Однако для комплексной оценки живучести необходимо рассматривать взаимодействие различных групп предельных состояний и их влияние на поведение конструкции в целом. Рассмотрим группы предельных состояний, которые являются основой расчета строительных конструкций применительно к металлическим мостовым балкам.

Мостовая балка является основной несущей конструкцией всего сооружения и воспринимает не только нагрузку от транспорта, но и вес плит настила моста, ограждений. В отличие от стандартных балок они должны работать при значительных пролетах и воспринимать длительные циклические нагрузки. Именно поэтому к мостовым балкам применяется более высокие требования прочности, жесткости и устойчивости.

К предельным состояниям первой группы относятся такие ситуации, при которых происходит полная или частичная утрата несущей способности мостовой конструкции, что делает ее дальнейшую эксплуатацию невозможной или небезопасной. В эту категорию входят:

1. Потеря прочности под воздействием эксплуатационных или запроектных нагрузок.
2. Потеря устойчивости формы – искривление или выпучивание элементов без разрушения самого материала [2].
3. Усталостное разрушение – накопление повреждений в материале вследствие циклических нагрузок (от движения транспорта или ветровых воздействий), приводящее к образованию и развитию трещин.

Расчеты по предельным состояниям первой группы направлены на то, чтобы обеспечить выполнение условия: максимальные усилия, возникающие в конструкции $N_{\max}$, не превышают ее минимальную несущую способность $\Phi_{\min}$, то есть $N_{\max} < \Phi_{\min}$. Это требование является основой для обеспечения безопасности и живучести мостовых сооружений [3].

К предельным состояниям второй группы относятся такие ситуации, при которых происходит ухудшение эксплуатационных характеристик мостовой конструкции, однако это не приводит к ее

немедленному разрушению или потере несущей способности. Основные виды таких состояний включают:

1. Чрезмерные деформации – значительные прогибы, осадки или углы поворота, которые могут затруднять движение транспорта, снижать комфорт или безопасность эксплуатации моста.

2. Недопустимые вибрации и колебания – интенсивные динамические воздействия (от проезда тяжелого транспорта или ветра), вызывающие дискомфорт для пользователей и ускоренный износ элементов конструкции.

3. Прочие явления – любые другие нарушения, требующие временного ограничения эксплуатации, например, разрушение покрытия проезжей части или элементов мостового полотна [4].

Расчеты по предельным состояниям второй группы мостовых балок направлены на ограничение перемещений в пределах нормативных значений. Это позволяет обеспечить нормальную эксплуатацию моста без необходимости проведения внеплановых ремонтов и поддерживать требуемый уровень комфорта и безопасности для пользователей.

Также иногда возникают особые предельные состояния в результате воздействия редких, но чрезвычайно интенсивных внешних факторов, которые зачастую не учитываются в стандартных расчетах мостовых конструкций. К таким воздействиям относятся:

1. Аварийные нагрузки – столкновения судов с опорами мостов, наезды транспорта на элементы конструкции, падение тяжелых грузов.

2. Стихийные бедствия – землетрясения, наводнения, селевые потоки, ураганы и другие природные катастрофы.

3. Техногенные аварии – взрывы, пожары, разливы агрессивных химических веществ, способные привести к повреждению или разрушению элементов моста.

4. Экстремальные климатические воздействия – сильное обледенение, экстремально низкие температуры, вызывающие хрупкое разрушение металлических элементов [5].

Основная задача расчетов по особым предельным состояниям – минимизировать возможные последствия подобных событий. Это достигается за счет предотвращения полного обрушения конструкции, обеспечения условий для безопасной эвакуации людей, а также снижения экономического ущерба.

Проведем расчет стержневой мостовой конструкции (рис. 1) по методу предельных состояний с учетом воздействия внешней распределенной нагрузки. Для этого понадобятся некоторые исходные данные, которые примем следующими:

- пролет балки: $L = 24 \text{ м}$;
- равномерно распределенная нагрузка: $q = 50 \text{ кН/м}$;
- расчетное сопротивление стали: $R_s = 240 \text{ МПа}$;
- коэффициент надежности: $\gamma_n = 1,1$;
- модуль упругости стали: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;
- допустимый прогиб: $f = \frac{L}{400} = \frac{24}{400} = 0,06 \text{ м} = 6 \text{ см}$.

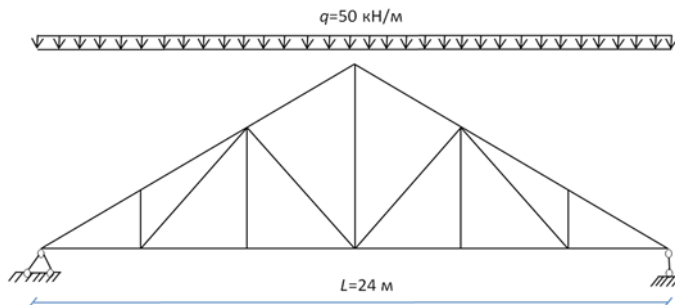


Рис. 1 Мостовая стержневая конструкция

1. Расчет опорных реакций для простой однопролетной балки на двух шарнирных опорах:

$$R_A = R_B = \frac{qL}{2} = 600 \text{ кН}.$$

2. Расчет внутренних усилий. Поперечная сила на опоре:

$$Q_{max} = \frac{qL}{2} = 600 \text{ кН}.$$

Изгибающий момент в середине пролета:

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} = 3600 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

3. Определение требуемого момента сопротивления сечения:

$$W_z = \frac{M_{max}}{R_s \gamma_n} = \frac{3600 \cdot 10^3}{240 \cdot 10^6 \cdot 1,1} = 1,36 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 = 13636 \text{ см}^3.$$

В соответствии с сортаментом СТО АСЧМ 20-93 принимаем два двутавра. № 70ШЗ, у которого $W_z = 7059 \text{ см}^3 > \frac{13636 \text{ см}^3}{2} = 6818 \text{ см}^3$;

$$I_z = 247100 \text{ см}^4; S_z = 4017 \text{ см}^3; S = 1,8 \text{ см}.$$

4. Расчет на прочность по нормальным напряжениям в рамках проверки по первой группе предельных состояний:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_z} = 25499 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2} = 255 \text{ МПа} < R_s \gamma_n = 264 \text{ МПа},$$

прочность обеспечена.

Проверка прочности по касательным напряжениям:

$$\tau = \frac{Q_{max} S_z}{I_z t} = 27,09 \text{ МПа} < 0,5 \cdot 240 \text{ МПа} = 120 \text{ МПа},$$

прочность обеспечена.

5. Проверка по второй группе предельных состояний: определение максимального прогиба:

$$f = \frac{5qL^4}{384EI_z} = 0,22 \text{ см} < 6 \text{ см},$$

условие жесткости выполняется [6].

Затем были проведены расчеты на живучесть данной конструкции, а результаты вероятностного анализа распределения параметров живучести по группам предельных состояний представили на рис. 2.

На рис. 2 а) показано распределение вероятностей при нормальной работе системы. Кривые плотности вероятности (I и II группы) четко разделены, а вероятность попадания в критическую область составляет 0,9998.

На рис. 2 б) отражается изменения живучести при отказе одного элемента. Видно, что распределение смещается вправо, и значительная часть вероятности теперь попадает в зону предельных состояний. Значение живучести снижается до 0,7877.

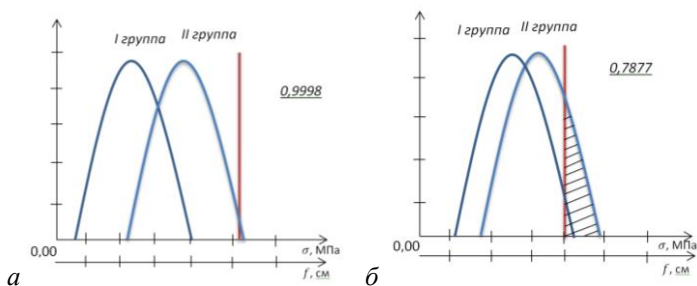


Рис. 2: а – вероятность распределения параметров живучести по группам предельных состояний; б – вероятность распределения параметров живучести по группам предельных состояний в случае отказа одного элемента.

Отказ даже одного элемента существенно повышает вероятность выхода системы в предельное состояние. Расчет по всем группам предельных состояний минимизирует риски ошибок.

Таким образом, только комплексный расчет способен гарантировать надежность, комфорт и живучесть мостовой конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А. И. Основы теории надежности мостов: Учебное пособие. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. 96 с.

2. Коваленко Е. В. Вероятностные основы метода предельных состояний и направления его развития // Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика: Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Уфа, 26 мая 2023 года. Том Часть 3. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. С. 214-218.

3. 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.

4. Гужва Д. А. Сравнительный анализ Европейской и Российской нормативной технической документации в области расчета стальных тонкостенных профилей по первой группе предельных состояний // IV Международный студенческий строительный форум - 2019: Сборник докладов (К 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова). В 2-х томах, Белгород, 26 ноября 2019 года. Том 1. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 40-43.

5. Крутикова М. А. Техническая оценка состояния моста по внешним признакам // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 6. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 139-142.

6. Глушко А. А. Факторы работы стенки двутавра при различных вариантах приложения сосредоточенной нагрузки // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 6. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 101-104.

Кудрявых А.Д., Беленцова Ю.С.

*Научный руководитель: Пучка О.В. д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКЕ НА СТАДИОНЕ БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА

Современное общество переживает период цифровой трансформации. Информационные технологии становятся неотъемлемой частью всех сфер жизни человека [4-5]. В БГТУ им. В.Г. Шухова цифровизация процессов реализуется в нескольких направлениях. Она включает в себя внедрение цифровых технологий в образовательный процесс, развитие программ дополнительного образования и модернизация управленческих систем. Внедряются системы основных сервисов для удобного взаимодействия между сотрудниками университета, студентами и партнерами [1].

В январе 2024 году проект БГТУ по созданию цифровых решений в едином образовательном пространстве был признан лучшим в номинации «Лучшее цифровое рабочее пространство» на конкурсе ComNews Awards.

Внедрение в вузе цифровых технологий позволило перевести основные сервисы взаимодействия со студентами и клиентами, включая почту, коммуникацию, сервисы совместного доступа и хранения информации. Для этого используются инструменты «МойОфис», «МойОфис Облако» и «МойОфис Аналитика», также применяется платформа Squadus для обеспечения коммуникации. Переход на применение менее затратных вариантов размещения ресурсов и использование облачных решений дали возможность отслеживать загрузку ресурсов и оперативно их масштабировать.

Интеграция решений с помощью «МойОфис.SDK» и других механизмов расширили функционал системы управления обучением (IMS), внедрять системы анализа метрик образовательной среды и сайта, а также информационную систему адресного взаимодействия и аналитики текущего состояния образовательного процесса.

В БГТУ им. В.Г. Шухова активно развивается проект «Цифровая кафедра». Проект реализуется в рамках федерального проекта «Развитие кадрового потенциала ИТ-отрасли» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Студенты

могут бесплатно получить дополнительную профессиональную квалификацию параллельно с обучением на основной программе. Программы разработаны ведущими преподавателями вуза совместно с региональными предприятиями-партнёрами и направлены на углублённое изучение цифровых компетенций.

Среди направлений программ — анализ данных и процессов (работа с большими данными), программирование, цифровой инжиниринг в строительстве, промышленности, транспортной инфраструктуре и других сферах.

В рамках федерального проекта «Приоритет-2030» разработана автоматизированная система диспетчерского управления объектами энергоснабжения — «Цифровой оператор объектов инженерной инфраструктуры». Данная программа предназначена для автоматизации процессов диспетчерского и сервисного обслуживания инженерных систем зданий, включая исполнение нормативно-правовых актов в области эксплуатации зданий бюджетной сферы. Более 60-ти зданий Министерства здравоохранения Белгородской области стали пилотными проектами для тестирования системы диспетчерского управления.

Несмотря на всю проделанную работу, университет не стоит на месте. В 2025 году на заседании ученого совета обсуждались основные направления цифрового развития вуза и его структурных подразделений на 2026-2027 годы.

Волна цифровизации образовательных процессов не захватила только кафедру физического воспитания и спорта. Это является большим упущением. Спортивная индустрия, будучи одной из наиболее динамичной и социально значимой отраслью, активно вовлекает во все свои процессы цифровые решения.

Цифровизация проведения учебных занятий и соревнований - это внедрение цифровых технологий в различные аспекты организаций, проведения и анализа спортивных тренировок и мероприятий. Она охватывает широкий спектр задач - от управления процессами до анализа данных, взаимодействия с участками и зрителями [3,6].

В данной статье мы рассмотрим реализацию процессов цифровизации в БГТУ им. В.Г. Шухова, а также применение их в совершенствовании процесса проведения соревнований по легкой атлетике на кафедре физического воспитания и спорта (ФВиС).

Основным местом проведения занятий по дисциплине «Физическая культура и спорт», а также соревнований по легкой атлетике - является стадион БГТУ им. В.Г. Шухова. Во время проведения легкоатлетических забегов осенью 2025 года, многие

студенты как участники, так и зрители высказали свое недовольство по поводу сложности перемещения на стадионе во время спортивных мероприятий. Были сформулированы основные проблемы, связанные с навигацией на легкоатлетическом стадионе БГТУ, учитывая мнение, как сотрудников университета, так и студентов. К ним были отнесены:

- сложность в понимании инфраструктуры студенческого городка первокурсниками;
- волнение и переживание студентов во время соревнований может сказаться на восприятии информации;
- постоянный контроль за каждым студентом ответственными преподавателями кафедры ФВиС;
- в начале соревнований места старта для различных дистанций не регламентируются, что может сбить с толку студентов;
- место для проведения разминки не регламентировано, из-за этого студенты проводят подготовку к старту в любом месте стадиона, что может мешать проведению легкоатлетических забегов.

Для решения данных проблем был разработан Сейдж- план проведения соревнований по легкой атлетике на стадионе БГТУ им. В.Г. Шухова, рисунок 1.



Рис. 1 Сейдж-план проведения соревнований по легкой атлетике на стадионе БГТУ им. В.Г. Шухова

Стейдж-план представляет собой схему размещения мест старта и финиша, местонахождение судейской комиссии, разминочной зоны, дополнительных конструкций и всего необходимого оборудования.

В схематичном виде на данном плане изображены зоны стартов для дистанций 100 - 3000 м. и эстафеты 4x100 м., также указано четкое место финиша и нахождение судейской коллегии. Подготовка спортсменов к моменту старта регламентировано местом сбора, каждый участник обязан явиться туда за 10-15 минут до предполагаемого времени старта и зарегистрировать свое присутствие. Для удобного перемещения студентов по стадиону создана зона разминки, а также местонахождение спортивного модуля. Определена зона спортивных трибун для болельщиков. Четко утверждены зоны легкоатлетических дорожек и место проведения соревнований по прыжкам в длину, места где не следует появляться людям, не имеющим отношение к участию или судейству в соревнованиях.

Применение стейдж-плана на легкоатлетическом стадионе БГТУ даст возможность скоординировать работу судейской коллегии и обеспечить более эффективное взаимодействие между студентами и преподавателями. Места старта и финиша будут регламентированы, что позволит студентам быстро и без особых трудностей явиться к месту старта. Данная разработка позволит уменьшить уровень переживания, студенты смогут сконцентрироваться на достижении высоких результатов. Ответственным преподавателям кафедры ФВиС по институтам не придется искать каждого студента на стадионе. Необходимо будет только ознакомить команду с планом проведения соревнований. Зрители спортивных мероприятий перестанут мешать участникам во время легкоатлетических забегов. Они будут четко знать, где должны находиться и не будут заходить в зоны разминки, места старта и финиша. В общем и целом, концепция разработки стейдж-плана применима не только к легкоатлетическому стадиону или спортивному комплексу БГТУ им. В.Г. Шухова. Данное улучшение можно использовать во время проведения масштабных мероприятий университета, концертов и работе офисе приемной комиссии БГТУ. Главная задача - создать в университете правильную систему навигации для студентов, сотрудников и гостей БГТУ им. В.Г. Шухова [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилин Я.А. «Бережливое производство» в образовании / Я.А. Вавилин // в сборнике: Качество. Инновации. Образование. 2020. № 4 (168). С. 23-28.

2. Кудрявых А.Д. Разработка навигационных систем на кафедре физического воспитания и спорта / Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Сборник докладов конференции. Белгород, 2025. С. 95-99.

3. Кирпичкина М.А., Новокрещенова О.В. Применение инструментов бережливого производства на предприятиях / М.А. Кирпичкина, О.В. Новокрещенова // в сборнике: The World of Science Without Borders. 2022. С. 578-580.

4. Пучка О.В., Буряк Ю.Ю. Внедрение инструментов бережливого производства в работе НМЦ ПАТС БГТУ им. В.Г. Шухова / О. В. Пучка, Ю.Ю. Буряк // в сборнике: Содействие профессиональному становлению личности и трудоустройству молодых специалистов в современных условиях. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Белгород, 2022. С. 179-192.

5. Хандогина Е.В., Моднов С.И. Электронное учебное пособие по дисциплине бережливое производство «Основы бережливого производства» / Е.В. Хандогина, С.И. Моднов // Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2022.

6. Хворова К.С., Чупахина Т.А. Применение бережливого производства в образовательных организациях / К.С. Хворова, Т.А. Чупахина // в сборнике: The World of Science Without Borders. 2022. С. 272-276.

УДК 621.039.73

Кузьмин Р.Е., Мельтешинова Д.Д., Хозяинов С.А.
Научный руководитель: Матюхин П. В. канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ И БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Успешное развитие во многих странах направления использования «мирного атома», а также атомной энергетики невозможно без разработки различных радиационно-защитных материалов и конструкций, а также решения вопроса утилизации и бережного хранения радиоактивных отходов. Радиационно-защитные материалы и конструкции могут быть выполнены из различных основ и наполнителей, что в комплексе придает защитной конструкции,

выполненной на их основе определенные необходимые радиационно-защитные свойства [1-16].

При работе атомных электростанций, предприятий ядерно-топливного цикла, медицинских учреждений и научно-исследовательских центров, добывающих и перерабатывающих радиоактивные руды предприятий могут накапливаться радиоактивные отходы различных категорий от освобожденных и короткоживущих до высокоактивных. На данный момент для радиоактивных отходов разработаны различные безопасные методы хранения и утилизации такие как сжигание, кондиционирование (иммобилизация) битумирование, хвостохранилища и многие другие [17]. В данной работе будут рассмотрены наиболее распространенные методы безопасного хранения и утилизации радиоактивных отходов.

В Российской Федерации классификация радиоактивных активных отходов основывается на удельной активности и периоде полураспада радионуклидов. Самым распространенным и надежным методом хранения радиоактивных активных отходов является захоронение в глубоких геологических структурах. Этот способ обеспечивает долговременную изоляцию отходов за счет естественных барьеров в виде больших слоев различных солей, гранита, глины, что позволяет минимизировать возможность попадание радионуклидов в окружающую среду. Однако успешная реализация данного захоронения сопровождается многолетними исследованиями и согласованиями со строгими экологическими стандартами [17-19].

Одним из способов захоронения жидких радиоактивных отходов является закачка на глубину около 200-400 метров в пористые горные породы, где отходы находятся под надежным геологическим барьером. Данный способ применим для долговременного хранения отходов, предотвращая попадание радионуклидов в поверхностные водоносные горизонты. Использование такого метода захоронения требует тщательной геологической разведки и мониторинга для предотвращения миграционных процессов радионуклидов. Однако, данный метод не всегда решает проблему утилизации больших объемов радиоактивных отходов и при этом требует к использованию значительных земельных территорий. В связи с этим, внимание исследователей и ученых направлено на переработку и повторное использование образующихся радиоактивных отходов [17].

Низко- и среднеактивные радиоактивные отходы часто фиксируются в битуме или цементе [17]. Битумирование – это отверждение жидких концентрированных или сухих радиоактивных отходов путем смешения их с расплавленным битумом и термического

обезвреживания полученной смеси, технология, которая была разработана в прошлом веке и получила широкое применение в ряде стран. Данный процесс снижает вероятность утечки, а также облегчает транспортировку и хранение радиоактивных активных отходов. Этот метод широко используется в странах с развитой атомной энергетикой из-за своей простоты и надежности. Он позволяет тщательно изолировать отходы на срок до нескольких сотен лет [17, 20].

Уменьшить количество радиоактивных отходов, подлежащих окончательному захоронению позволяет трансмутация - это процесс целенаправленного воздействия на долгоживущие радиоактивные ядра с целью их превращения в стабильные ядра или нуклиды с меньшим периодом полураспада. На практике трансмутация чаще всего происходит при облучении нейтронами и осуществляется двумя техническими способами: способом, основанным на реакторах, использующих быстрые нейтроны, где отходы в специальных тепловыделяющих сборках дожигаются в реакторе и гибридным способом, где в термоядерной части системы генерируются высокоэнергетические нейтроны за счёт реакций синтеза лёгких ядер, затем нейтроны направляются в ядерную часть с делящимися материалами и долгоживущими радиоактивными отходами и выбитые нейтроны трансмутируют. Но технология трансмутации не широко используется из-за сложности разделения долгоживущих изотопов, стоимости строительства таких производств, а также риска возникновения при трансмутации новых радиоактивных веществ и активации конструкционные материалов реактора [17, 21].

Существует метод полимеризации радиоактивных отходов. Так как полимеры обладают хорошей химической стойкостью, в последнее время имеется опыт включения радиоактивных отходов в полиэтилен при низких температурах. Например, в Японии концентрат жидких радиоактивных отходов превращают в порошкообразные вещества и после равномерного перемешивания вместе с пластмассой отверждают его в железных бочках [20].

Таким образом, прогресс методов обращения с радиоактивными активными отходами движется от захоронения к активной переработке и повторного использования радиоактивных отходов. Современные исследования направлены на создание новых перспективных материалов для хранения радиоактивных активных отходов, совершенствование технологий их переработки и разработку более экологически чистых и безопасных производств их переработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюхин, П. В. Композиционный материал, стойкий к воздействию высокоэнергетических излучений / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 25-27.
2. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 35-39.
3. Радиационно-защитные железооксидные матрицы для кондиционирования жидких радиоактивных отходов АЭС / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 163-167.
4. Павленко, В. И. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 22-25.
5. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.
6. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 39-40.
7. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-6. – С. 983-986.
8. Матюхин, П. В. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-1. – С. 148-152.
9. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.
10. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Ю. М.

Бондаренко, П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 120.

11. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

12. Снижение радиоактивных загрязнений поверхности стальных конструкций радиационно-защитного транспортного контейнера на основе железорудного сырья КМА / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 228-234.

13. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

14. Черкашина, Н. И. Нанотрубчатые наполнители с повышенной способностью поглощения гамма-излучения / Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин, И. В. Соколенко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1187-1190.

15. Физико-технические свойства радиационно-защитного транспортного контейнера на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин [и др.] // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области : сборник докладов, Белгород, 25–26 февраля 2016 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 256-264.

16. Черкашина, Н. И. Влияние высоких давлений прессования при синтезе на изменение физико-механических характеристик полимерных композитов на основе термопластичных эластомеров / Н. И. Черкашина, Э. В. Прут, П. В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 155-159. – DOI 10.12737/22762.

17. Вагапова, И. М. Современные методы утилизации радиоактивных отходов: обзор и перспективы / И. М. Вагапова // Научные технологии в машиностроении: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Победы в Великой Отечественной войне и 85-летию города трудовой доблести Ишимбая, Ишимбай, 16–18 апреля 2025 года. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий. – 2025. – С. 161-163.

18. studfile.net [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/2854734/page:2/> (дата обращения: 20.04.2026).

19. science.mail.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://science.mail.ru/articles/41818-radioaktivnye-otkhody/> (дата обращения: 20.04.2026).

20. Gafarova, V. V. Safe methods of radioactive waste utilization / V. V. Gafarova, T. A. Kulagina // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. – Vol.9(4). — P. 585–597.

21. Трансмутация [Электронный ресурс]. URL: <https://jinrmag.jinr.ru/win/2003/6/Inf6.htm> (дата обращения: 20.04.2026).

УДК 004.032.26

Кусенко К.А.

Научный руководитель: Стеценко О. Н., асс.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОБЗОР НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АЛГОРИТМАХ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕО

Одновременно с ростом объёма видеотрафика возрастают требования к разрешению и качеству видео. Современные стандарты кодирования, такие как H.265/HEVC и H.266/VVC, используют межкадровую блочную компенсацию движения, а в кадрах I-типа — дискретное косинусное преобразование и квантование. Недостатком стандартных алгоритмов является недостаточная адаптация параметров кодирования при работе с кадрами различной степени насыщенности.

Вследствие этого при сильном сжатии в насыщенных областях кадра возникают заметные артефакты: блочность, размытие и ореолы [2].

В настоящее время активным направлением исследований является внедрение нейронных сетей в алгоритмы видеокодеков. Основное отличие нейросетевых подходов от классических методов заключается в предварительном обучении нейросетевых модулей на больших датасетах. Это позволяет более гибко адаптировать обработку к особенностям видеопоследовательностей и повышать эффективность сжатия при сохранении качества [3].

Наряду с внедрением нейросетевых модулей в структуру кодека перспективным направлением остаётся поиск новых принципов организации самого процесса кодирования видеоданных. В современных исследованиях рассматриваются, в частности, мультиагентные подходы, ориентированные на более гибкое распределение функций кодирования и адаптацию обработки к характеристикам видеопотока [6].

В работе М. К. И. Ибрахима и А. В. Дворковича рассмотрено совершенствование внутрицикловой обработки в стандарте H.266/VVC (Versatile Video Coding) с использованием остаточных глубоких свёрточных нейронных сетей Res DCNN. Известно, что классический алгоритм VVC позволяет повысить эффективность сжатия по сравнению с HEVC/H.265 примерно на 50 % при том же качестве. Однако при высоких степенях компрессии сохраняются искажения, в частности размытие границ и потеря высокочастотных деталей. Для устранения подобных артефактов авторами предложена интеграция нейросетевого модуля в контур кодека после этапов квантования и обратного преобразования. В работе показано, что архитектура Res DCNN сочетает глубокие свёрточные слои с остаточными плотными блоками (Residual Dense Blocks, RDB). Такие блоки позволяют эффективно извлекать и повторно использовать иерархические признаки видеоданных, а остаточные связи ускоряют сходимость и предотвращают затухание градиента. Эксперименты показали, что после внедрения нейромодуля Res DCNN в контур видеокодека VVC значение PSNR возрастает с 35,36 до 37,33 дБ при одинаковом битрейте, что соответствует заметному визуальному улучшению изображения [1].

В работе М. С. Великанова и соавторов рассмотрено применение нейросетевых методов оценки оптического потока и определения областей открытия/закрытия для улучшения межкадрового предсказания. Классические алгоритмы компенсации движения опираются на кодирование векторов разности между блоками в соседних кадрах, что часто оказывается недостаточно эффективным

при сложном движении и появлении новых объектов в кадре. Авторами предложен нейросетевой алгоритм поиска областей открытия/закрытия на основе архитектуры PWC-net, предназначенной для расчёта оптического потока. Модификация включает на каждом уровне пирамиды признаков небольшую свёрточную сеть из шести слоёв с конкатенацией, аналогичной DenseNet. Обучение проводилось на синтетических датасетах FlyingChairs2 и FlyingThings3D, а тестирование — на реальных сценах MPI-Sintel. Предложенный метод достиг значения F-меры 0,531 на всём наборе данных против 0,479 у базовой нейросети PWC-net и превзошёл ряд классических оптимизационных методов. При этом количество параметров сети составило 23 млн, что в пять раз меньше, чем у метода на основе FlowNet 2.0 [4].

В работе А. К. Аверкина и А. Е. Рабиновича рассмотрено использование свёрточных нейронных сетей для постобработки сжатого видеопотока с целью удаления комплексных артефактов, возникающих при квантовании и субдискретизации цветности. В статье разработана система восстановления видеопотока с беспилотных летательных аппаратов, объединяющая модуль на основе CNN для обнаружения аномалий и модуль восстановления на основе пространственно-временной интерполяции с использованием архитектуры U-Net и оптического потока [5]. Обучение проводилось на датасете из 1,2 млн искусственно искажённых изображений, содержащих гауссов шум, артефакты типа «соль и перец», размытие и пропуски кадров. Эксперименты, описанные в статье, показывают, что предлагаемый метод превосходит бикубическую интерполяцию и методы на основе оптического потока: значение PSNR повышается с 26,8 до 32,1 дБ, SSIM — с 0,71 до 0,89, а MSE снижается с $8,6 \times 10^{-3}$ до $4,0 \times 10^{-3}$ [5]. При оптимизации с помощью TensorRT время обработки кадра сокращается до 11,6 мс, что позволяет использовать систему в реальном времени на борту БПЛА [5].

Проведённый обзор показывает, что нейросетевые методы уже сегодня способны существенно повысить эффективность видеокодирования как внутри алгоритма, так и на этапе постобработки [1; 4; 5]. Свёрточные нейронные сети демонстрируют высокую результативность при подавлении артефактов квантования, повышении качества реконструкции и более точном учёте движения между кадрами. Это подтверждает целесообразность дальнейшего внедрения нейросетевых модулей в современные системы видеокодирования [1; 3–5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ibraheem M. K. I., Dvorkovich A. V. Enhancing Versatile Video Coding Efficiency via Post-Processing of Decoded Frames Using Residual Network Integration in Deep Convolutional Neural Networks // *2024 26th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)*. — Moscow, Russian Federation, 27-29 March 2024. — IEEE, 2024. — P. 1-9. DOI: 10.1109/DSPA60853.2024.10510065.
2. Ричардсон Я. Вideoкодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.
3. Богачев И.В., Булканов Д.Е. Обзор современных нейросетевых методов сжатия для задачи обработки измерительных данных // *Вестник ТОГУ*. – 2024. – № 2 (73). – С. 83–92.
4. Великанова М.С., Анзина А.Б., Лаврушкин С.В., Ватолин Д.С. Нейросетевой алгоритм поиска областей открытия/закрытия в видеопоследовательностях // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 176–183.
5. Аверкин А.К., Рабинович А.Е. Анализ видеоряда беспилотных летательных средств с целью восстановления потерь в видеопотоке // *Вестник науки*. – 2025. – № 5 (86), Т. 4. – С. 1302–1309.
6. Стеценко О. Н., Хлопов А. М., Акинъшин Д. И., Минченко Е. С. Разработка концепции мультиагентного подхода к кодированию видеоданных // *Научный результат. Информационные технологии*. 2025. Т. 10, № 2. С. 25–37.

УДК 921.9

Кхалифа М.

*Научный руководитель: Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ И ЕГО СТРУКТУРЫ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В данной статье рассматриваются значение покрытия и его структуры для повышения эффективности работы режущего инструмента при точении. Структура и свойства покрытия являются одними из основных факторов, влияющих на тепловое состояние режущего инструмента. Представлены факторы, влияющие на температуру резания при точении резцами с многослойным покрытием.

В работе представлены методы анализа многослойных покрытий и их тепловых свойств при моделировании для оценки теплового состояния.

В современном машиностроении особое внимание уделяется разработке режущих инструментов с функциональными многослойными покрытиями, направленными на повышение их производительности и эксплуатационной эффективности. Нанесение покрытия является высокоценным этапом в производстве современных инструментов. Всего несколько микрон слоя радикально изменить долговечность инструмента и экономическую целесообразность инструмента. Покрытия обладают высокой твердостью, низкой теплопроводностью и низкой шероховатостью поверхности по сравнению с инструментами без покрытия. Таким образом, были разработаны различные покрытия для инструментов, которые наносятся на твердосплавную пластину. Основными методами формирования покрытий на поверхности твердосплавных пластин являются CVD (химическое осаждение из паровой фазы) и PVD (физическое осаждение из паровой фазы). Выбор между методами заключается в условиях работы режущего инструмента и его задачи. Эти методы различаются по принципу процесса, температурным режимам, характеристикам покрытий и областям применения.

CVD является высокотемпературным процессом, при котором температура может достигать 1200 °C. Он позволяет получать более толстые покрытия — от 5 до 20 мкм — с высокой адгезией и термостойкостью. Наиболее распространённые материалы для CVD-покрытий включают карбид титана (TiC), нитрид титана (TiN) и оксид алюминия (Al_2O_3), [1]. PVD является низкотемпературным процессом, обычно проводимым при 400–600 °C. Он позволяет получать тонкие покрытия толщиной 2–5 мкм. PVD покрытия особенно подходят для изделий, где важны сохранение острых режущих кромок, так как процесс минимально изменяет форму детали и не снижает её механическую прочность, [2].

Тепловое состояние покрытия режущего инструмента является важным показателем, определяющим качество обработки и эффективность работы инструмента. Согласно данным литературы, ряд факторов влияет на тепловое состояние покрытия, следствием на эксплуатационные характеристики резца, среди которых можно выделить толщину и химический состав слоев, их теплофизические свойства, а также особенности поверхности контакта со стружкой.

Zhang and Liu [3], разработали тепловую модель путем приложения постоянного теплового потока к передней поверхности инструмента с покрытием для исследования влияния толщины покрытия на

температуру резания, как показано на рисунке (1, а). Исследователи выполнили экспериментов с применением режущего инструмента с покрытием из TiN. Толщины покрытия составляют 5, 10, 20 мкм. Согласно рис. (1, б) толщина покрытия оказывает заметное влияние на величину повышения температуры. При толщине покрытия TiN 5, 10 и 20 мкм максимальная температура достигает 482,89 °С, 470,23 °С и 444,28 °С соответственно. Для подложки K10 разница температур между покрытиями толщиной 5 и 20 мкм составляет 38,61 °С. Полученные результаты показали, что увеличение толщины покрытия TiC способствует снижению температуры передней поверхности инструмента и обеспечивает эффективный тепловой барьер.

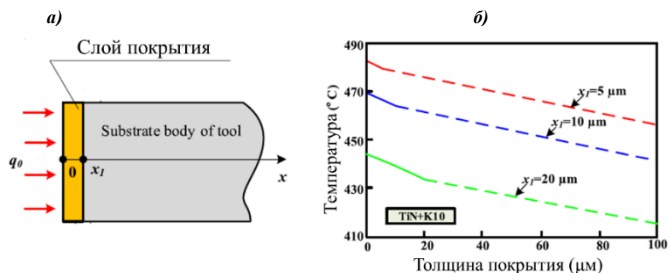
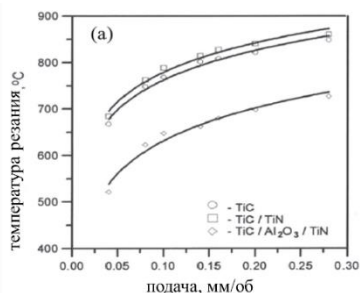


Рис. 1. а – модель теплового потока к передней поверхности инструмента, б – зависимость толщины покрытия TiC от температуры

Структура покрытия, включая состав слоёв и их расположение, оказывает существенное влияние на температуру резания при точении, поэтому ряд учёных уделял этому вопросу большое внимание. Grzesik [4], измерил с помощью термопары среднюю температуру поверхности контакта стружки с инструментом. в процессе ортогонального резания углеродистой стали AISI 1045 инструментами с многослойным покрытием TiC, TiC/TiN и TiC/Al₂O₃/TiN. Результаты исследования показали, что разница измеренных температур поверхности контакта достигала даже 290°С при сравнении одно и трехслойных покрытий, рис (2, а). Однако влияние покрытия на температуру резания зависит от обрабатываемого материала. Исследователь также выполнил аналогичные испытания с различными обрабатываемыми материалами, включая нержавеющую сталь AISI 304, при одинаковых условиях резания, рис (2, б).

а)



б)

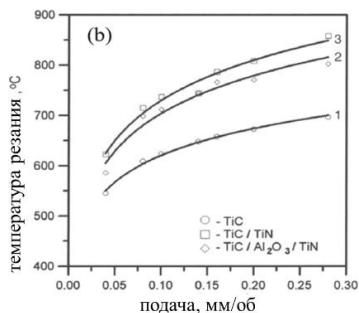


Рис. 2. Влияние Структуры покрытия на температуру резания при точении: а – углеродистой стали AISI 1045, б – нержавеющей стали AISI 304

Теплофизические свойства покрытия инструмента, изменяющиеся значительно с температурой, существенно влияют на теплопередачу и температуру резания при обработке металлов. Наиболее важными свойствами инструмента являются теплопроводность, теплоёмкость и температуропроводность, [5]. На рисунке 3 показано изменения коэффициента теплопроводности для различных видов покрытий.

Моделирование режущих инструментов с тонкими многослойными покрытиями — это критически важная задача, особенно в современных исследованиях. Для тонких покрытий применяются разные подходы, в зависимости от масштаба и задач. Для моделирования слоев покрытия и их физических свойств в имитационных моделях, реализующих метод конечных элементов, применяют два основных подхода [6].

Первый подход основан на явном представлении покрытия в виде отдельного тонкого слоя с заданными механическими и теплофизическими характеристиками, рис (4, а).

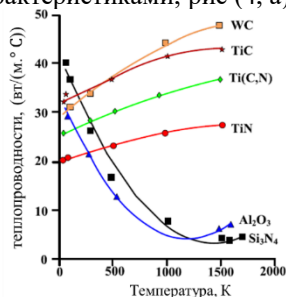


Рис. 3. Изменения коэффициента теплопроводности для различных видов покрытий

Второй подход используется для упрощения имитационной модели, несколько слоев покрытия заменяются одним слоем с одинаковой толщиной и эффективными тепловыми свойствами по методу эквивалентного слоя. Такой подход позволяет учитывать суммарное влияние многослойного покрытия на тепловые и механические характеристики инструмента, не усложняя сетку модели и расчет, рис (4, б).

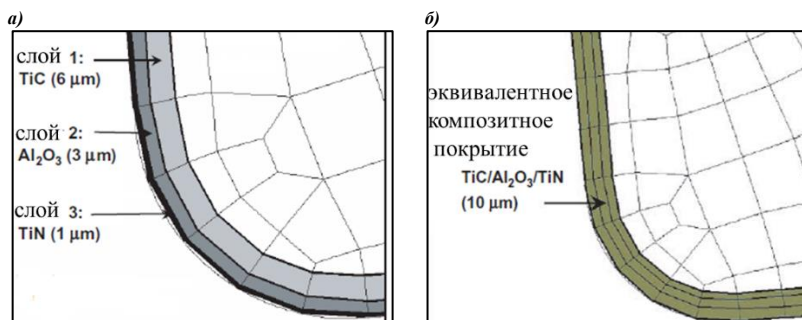


Рис. 4. Моделирование многослойного покрытия: а – явное представление покрытия в виде отдельного тонкого слоя углеродистой стали AISI 1045, б – эквивалентное композитное покрытие, упрощенный подход

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dosbaeva G.K., El-Hakim M.A., Shalaby M.A., Krzanowski J.E., Veldhuis S.C. Cutting temperature effect on PCBN and CVD coated carbide tools in hard turning of D2 tool steel // *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* — 2015. — Vol. 50. — P. 1–8.
2. Skordaris G., Bouzakis K.D., Kotsanis T., Charalampous P., Bouzakis E., Brezidenstein B., Bergmann B., Denkena B. Effect of PVD film's residual stresses on their mechanical properties, brittleness, adhesion and cutting performance of coated tools // *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* — 2017. — Vol. 18. — P. 145–151.
3. Zhao J.F., Liu Z.Q. Influences of coating thickness on cutting temperature for dry hard turning Inconel 718 with PVD TiAlN coated carbide tools in initial tool wear stage // *J. Mater. Process. Technol.* — 2020. — Vol. 56. — P. 1155–1165.
4. Grzesik W., Luttervelt C.A.V. An investigation of the thermal effects in orthogonal cutting associated with multilayer coatings // *CIRP Ann. Manuf. Technol.* — 2001. — Vol. 50, № 1. — P. 53–56.

5. Krajinovic I., Daves W., Tkadletz M., Tepperneegg T., Klunsner T., Schalk N., Mitterer C., Tritremmel C., Ecker W., Czettl C. Finite element study of the influence of hard coatings on hard metal tool loading during milling // Surf. Coat. Technol. — 2016. — Vol. 304. — P. 134–141.

6. Ning J.Q., Liang S.Y. A comparative study of analytical thermal models to predict the orthogonal cutting temperature of AISI 1045 steel // Int. J. Adv. Manuf. Technol. — 2019. — Vol. 102, № 9. — P. 3109–3119.

УДК 624.138.232

Лебедев А.Е.

Научный руководитель: Чакхиев И.М., канд. техн. наук, доц.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ИННОВАЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Геотехническое строительство связано с уплотнением и упрочнением слабых, водонасыщенных, неоднородных и техногенно нарушенных грунтов, где цементационное упрочнение сохраняет практическую значимость, но зависит от расхода портландцемента, стоимости работ и устойчивости грунтобетона [1], [5], [7]. Проблема состоит в том, что системы укрепления оцениваются по отдельным свойствам, тогда как для практики важна сопоставимость по прочности, технологичности и долговечности. Цель работы состоит в определении перспективных групп инновационных вяжущих и техногенных материалов для укрепления грунтов.

При инъекционном закреплении и струйной цементации прочность грунтобетонного массива определяется не только активностью вяжущего, но и его расходом на объем закрепляемого грунта. Для цементных инъекционных смесей расход цемента составляет от 300 до 900 кг/куб.м закрепляемого грунта, а общая годовая потребность отечественного рынка геотехнического строительства превышает 10 млн тн. [7]. Поэтому задача заключается не в отказе от портландцемента, а в снижении цементоемкости при сохранении расчетной прочности и технологической пригодности смеси. Бесклинкерные вяжущие расширяют сырьевую базу за счет шлаков, природных и техногенных алюмосиликатных материалов, что значимо для регионов с дефицитом портландцемента [5].

Такие системы отличаются от портландцемента механизмом структурообразования. В бесклнкерной технологии используются шлаки черной металлургии, тонкодисперсные горные породы алюмосиликатной природы, каолиновые глины, опока и другие компоненты, которые после механической, термической или щелочной активации приобретают способность к гидратационному и геополимерному твердению [5]. Для геополимерных вяжущих характерно разрушение первичной структуры алюмосиликатного сырья щелочными растворами, образование силикатных и алюминатных групп и формирование пространственной структуры искусственного камня [6]. На основе метакеолина и щелочного активатора NaOH формируется алюмосиликатный каркас, обладающий прочностью и устойчивостью в агрессивных средах [6]. Микрокремнезем в составе ГПВ повышает плотность и непроницаемость структуры, а увеличение расхода щелочного активатора повышает активность вяжущего, но сокращает сроки схватывания [6].

Для геотехнического строительства важна не только конечная прочность геополимерного камня, но и поведение инъекционной смеси до твердения. Смесь должна сохранять прокачиваемость, вязкость и седиментационную устойчивость, поскольку от этих свойств зависит заполнение грунтового массива и равномерность формируемого грунтобетона. При проектировании инъекционных смесей на основе ГПВ учитываются водовяжущее отношение, соотношение компонентов, вязкость, седиментационная устойчивость и прочность сформированных грунтобетонных массивов [6]. НТФ-кислота применяется как замедлитель схватывания, однако при дозировке более 0,8 % установлено длительное блокирование процесса гидратации [6]. В ГПС на основе метакеолина прочность грунтобетонных массивов может изменяться от 0,5 до 9,0 МПа в зависимости от поставленных задач и расчетного обоснования [7]. Ценность таких систем состоит в возможности задавать прогнозируемый уровень упрочнения.

Ограничения геополимерных и бесклнкерных решений связаны с чувствительностью к составу сырья, активатора и режиму твердения. Для ГПС отмечена неудовлетворительная воспроизводимость свойств вследствие высокой чувствительности к свойствам щелочного активатора, а также выделение свободной щелочи на поверхности строительных конструкций [7]. Для ГПВ и бетонов на их основе указаны колебания химического и минерального состава минеральной составляющей и активатора [6]. Геотехническое строительство частично снимает эти ограничения, поскольку грунтобетонные массивы обычно являются низкопрочными, не предъявляют требований к

внешнему виду, а высолы на поверхности не имеют такого значения, как в конструкционном бетоне [6]. Однако сохраняется необходимость контроля состава, вязкости, сроков схватывания, седиментации и проектной прочности. Поэтому геополимерные и бесклнкерные вяжущие являются обоснованной альтернативой портландцементу только при технологически управляемом применении [5; 6; 7].

Золошлаковые смеси в укрепленных основаниях автомобильных дорог выступают не как инертный наполнитель, а как компонент укрепленного материала, влияющий на гранулометрический состав, оптимальную влажность, плотность и прочность золоцементогрунта. В составах с портландцементом от 4 до 15 % и золошлаковой смесью от 8 до 19 % все смеси достигли марки М40, а рациональным принят состав из 75 % грунта, 10 % портландцемента и 15 % золошлаковой смеси [4]. При проектировании грунтобетона ЗШС выполняет структурообразующую функцию, а ОХЦ выступают микроармирующей добавкой. Для композиции выделены портландцемент от 5 до 7 %, ЗШС от 18 до 22 %, ОХЦ от 8 до 12 % и талловый пек от 2,5 до 3,5 % [2]. Поэтому ЗШС раскрывают ресурс цементосбережения и вовлечения отходов в укрепленные грунты.

Фосфогипс имеет высокий ресурсный потенциал для дорожного строительства, поскольку в России в отвалах складировано порядка 300 млн тонн этого отхода производства минеральных удобрений [3]. Вместе с тем фосфогипс нельзя рассматривать как равнозначную замену геополимерным или золошлаковым системам. Его использование ограничивается радиоактивностью, содержанием примесей, растворимостью, низкой водостойкостью и необходимостью повышения водо и морозостойкости. Фосфогипс применим в стабилизированном виде, в земляном полотне и в комбинации с неорганическим вяжущим для укрепленных оснований дорожных одежд [3]. Поэтому его следует раскрывать как резервный техногенный компонент, требующий сочетания с цементом, золой, шлаком, известью или добавками для устойчивости к воде.

Грунтоцемент и технология Jet Grouting задают инженерную основу применения новых вяжущих. При струйной цементации энергия высоконапорной струи цементной суспензии разрушает, диспергирует структуру грунта, частично замещает его и перемешивает с раствором. После твердения образуется грунтоцемент с прочностными и деформационными характеристиками [1]. Коэффициент заполнения пор связывает плотность, прочность на одноосное сжатие и модуль деформации грунтоцемента [1]. Поэтому вяжущее при инъекционном введении должно оцениваться по прочности камня, заполнению

порового пространства, однородности и способности формировать расчетный грунтобетонный массив.

Фиброцементогрунт не заменяет вяжущее, но повышает надежность укрепленного грунта за счет дисперсного армирования цементогрунтовой матрицы. Фиброцементогрунт на основе суглинка тяжелого песчанистого, портландцемента и базальтового фиброволокна показывает зависимость прочности от содержания вяжущего, количества фиброволокна и длины волокон [8]. Оптимальное содержание базальтового фиброволокна составляет от 2,0 до 2,5 % от массы сухого грунта при длине волокон 25 мм. Добавка базальтового фиброволокна 2,0 % увеличивает прочность на растяжение при раскалывании от 12,5 до 21,2 % и прочность на сжатие от 7,9 до 17,4 % [8]. Наиболее значим рост сопротивления растяжению при раскалывании, поскольку он связан с трещиностойкостью при нагрузках. Выбор материала должен учитывать тип грунта, требуемую прочность, водонасыщенность, агрессивность среды, технологию введения смеси, сроки схватывания, сырьевую доступность, экологическую безопасность и долговечность. Геополимерные и бесклнкерные вяжущие раскрывают замену цемента, ЗШС показывают цементосбережение и утилизацию отходов, фосфогипс требует модификации, а фиброволокно повышает трещиностойкость цементогрунтов.

Перспективы укрепления грунтов связаны с сочетанием нескольких решений. Бесклнкерные и геополимерные вяжущие позволяют снижать зависимость от портландцемента, золошлаковые смеси вовлекают техногенное сырье в состав укрепленных грунтов, а фиброармирование повышает надежность цементогрунтовой матрицы [4]. Наиболее готовыми являются геополимерные метакаолиновые системы, золошлаковые цементогрунты и фиброцементогрунты. Фосфогипс остается перспективным, но ограниченным материалом, требующим повышения водо- и морозостойкости [3]. Инновационность таких систем состоит в управлении структурообразованием, поровой заполненностью, трещиностойкостью и долговечностью укрепленного грунта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беккер, А.Т. Экспериментальные исследования физических и механических свойств грунтоцемента на основе однородных песков одной фракции / А.Т. Беккер, А.А. Красилов, А.А. Зверев, Е.В. Чигров

// Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2024. — № 2 (59). — С. 96–108.

2. Бобыльская, В.А. Подбор составов золошлакоцементной смеси при проектировании грунтобетонных / В.А. Бобыльская, А.В. Мазгалова, С.И. Лещенко // Эксперт: теория и практика. — 2023. — № 4 (23). — С. 41–46.

3. Довыденко, А.В. Использование фосфогипса в сфере дорожного строительства: потенциал и проблемы / А.В. Довыденко, А.А. Лунёв // Вестник МГСУ. — 2023. — Т. 18, № 2. — С. 254–269.

4. Урханова, Л.А. Подбор состава укрепленных материалов для оснований автомобильных дорог с использованием золошлаковых смесей / Л.А. Урханова, С.А. Лхасаранов, А.В. Битуев, Н.Н. Смирнягина // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. — 2023. — № 4 (91). — С. 96–105.

5. Харченко, А.И. Применение бесклнкерных вяжущих в геотехническом строительстве / А.И. Харченко, И.Я. Харченко, С.-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Эксперт: теория и практика. — 2023. — № 1 (20). — С. 139–146.

6. Харченко, А.И. Применение геополлимерных вяжущих для уплотнения и упрочнения грунтов в геотехническом строительстве / А.И. Харченко, В.Г. Хозин, И.Я. Харченко, А.А. Пискунов // Эксперт: теория и практика. — 2023. — № 4 (23). — С. 133–139.

7. Харченко, И.Я. Инъекционные смеси на геополлимерной основе для уплотнения и упрочнения грунтов / И.Я. Харченко, К.А. Ибрафиров, А.И. Харченко // Системные технологии. — 2023. — № 1 (46). — С. 124–130.

8. Чудинов, С.А. Исследование прочностных показателей фиброцементогрунта для устройства конструктивных слоев лесовозных автомобильных дорог / С.А. Чудинов // Системы. Методы. Технологии. — 2024. — № 2 (62). — С. 138–144.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Цифровая трансформация строительства формирует единую информационную экосистему объекта капитального строительства (ОКС). Несмотря на широкое внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ), практическая ценность цифрового двойника резко снижается при переходе к строительно-монтажным работам и эксплуатации из-за фрагментарного использования виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Анализ публикаций показывает асимметрию: вопросы интеграции данных между VR- и AR-средами на всем жизненном цикле остаются практически неизученными. В результате насыщенная атрибутами модель на этапе проектирования при передаче эксплуатации редуцируется до статичных схем или неадаптированной геометрии. Проблема усугубляется отсутствием единой методологии: производители предлагают изолированные решения (VR-тренажеры, AR-приложения, симуляторы), не обеспечивающие бесшовной связи. Маркер, оставленный в VR на этапе стройконтроля, не наследуется в AR-слой эксплуатации, а данные лазерного сканирования не обогащают виртуальный двойник [1, 2].

Методологической основой предлагаемого подхода выступает сквозной информационный пайплайн, обеспечивающий передачу геометрических и семантических данных между VR- и AR-средами на всех этапах жизненного цикла. Он включает четыре модуля: BIM-ядро (Autodesk Revit), насыщающее модель атрибутами (марка оборудования, дата замены, класс пожарной опасности); VR-среду коллаборации (Twinmotion) с прямой синхронизацией через Datasmith и экспортом облегченных сцен для AR; AR-инструменты стройплощадки (HoloLens 2 с VisualLive, FieldAR, Gamma AR), реализующие вынос осей, контроль монтажа и фотограмметрию; а также AR-модули эксплуатации, куда помимо зарубежных решений интегрированы отечественные разработки [2-4]. Для импортонезависимости и расширения функциональности в пайплайн включены: планшет BRIO

MRS с геопозиционной привязкой для работы в условиях стройплощадки; комплекс «AR СОФТ» (реестр российского ПО №12888), объединяющий VR Build Manager и AR Mobile; платформа VOLTER.ONLINE, ориентированная на визуализацию и редактирование эксплуатационных двойников через веб-интерфейс; концепция «стройXR», создающая программно-аппаратный комплекс непосредственного исполнителя работ. Для обеспечения непрерывности данных применяется следующая последовательность: файлы *.rvt через Datasmith синхронизируются с Twinmotion, затем конвертируются в полигональные сцены форматов .fbx или .glTF и загружаются в AR-платформы посредством специализированных модулей. Чтобы исключить характерную для нерегламентированных процессов потерю параметров, вся атрибутивная информация параллельно сохраняется в *.csv-таблицах [1-4].

Подобная сквозная методика строится на трёх зафиксированных этапах сопряжения, формирующих каркас единой модели (рис. 1).

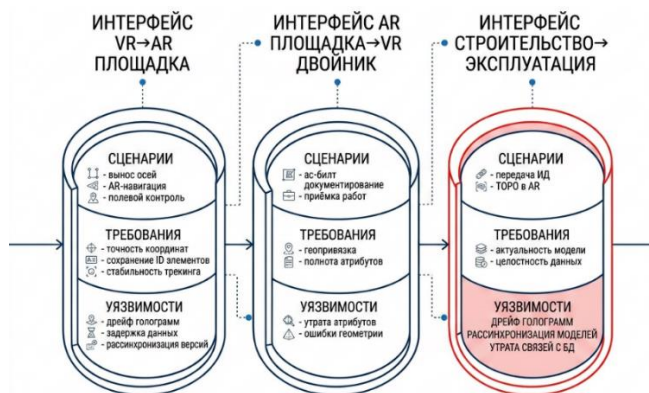


Рис. 1. Диаграмма интерфейсов перехода с критическими факторами

Подобная сквозная методика строится на трёх зафиксированных этапах сопряжения, формирующих каркас единой модели (рис. 1). При переносе итогов совместной VR-верификации в рабочий AR-контент для стройплощадки решающее значение имеет точность пространственной привязки: сдвиг координат даже на сантиметры обнуляет пользу наложенной графики. Здесь отрабатываются разбивка осей, контроль высот и визуализация скрытых узлов. Обратный канал, связывающий полевые AR-замеры с виртуальным цифровым двойником, работает на актуализацию модели в состоянии «как построено»: данные фотограмметрии, лазерного сканирования и ручной

фиксации отклонений возвращаются в VR-среду для приёмочного контроля и анализа расхождений. Наибольшие риски несёт стык строительства и эксплуатации, где требуется беспрепятственная передача накопленных в виртуальной среде и подтверждённых дополненной реальностью метаданных в системы управления объектом. Именно на этом рубеже чаще всего исчезает смысловая нагрузка моделей, оставляя лишь геометрическую оболочку. При корректной реализации этап позволяет настраивать AR-навигацию по инженерным сетям, получать мгновенный доступ к паспортным данным оборудования и организовывать удалённые консультации с проектировщиками [5-9].

Сопоставление зарубежных и отечественных средств показывает, что главное различие – не техническая зрелость, а наличие открытых протоколов для бесшовного перехода. Twinmotion обеспечивает быструю синхронизацию с Revit, но ограничивает обратный поток из AR. HoloLens с VisualLive эффективны внутри помещений, однако на открытых площадках испытывают дрейф голограмм при нехватке визуальных якорей. Отечественные решения компенсируют эти ограничения: BRIO MRS не требует расстановки меток, «AP СОФТ» работает в VR и AR на мобильных устройствах, VOLTEP.ONLINE упрощает эксплуатационный мониторинг через веб-интерфейс. Общим недостатком остается отсутствие единого формата обмена иммерсивным контекстом, что вынуждает применять ручной реимпорт и повышает риск рассинхронизации версий [10-13].

Масштабное внедрение сдерживают три группы барьеров. Технические факторы включают нестабильность позиционирования вне помещений, высокие требования к вычислительным ресурсам, ограниченную автономность носимых устройств, недостаточную пыле- и влагозащиту. Организационные барьеры – это низкая цифровая грамотность линейного персонала, инерция бумажного документооборота, дефицит специалистов по иммерсивным системам. Нормативные ограничения связаны с отсутствием стандартов, определяющих статус AR-визуализации в приемочном контроле. Перспективы развития связаны с переходом к открытым форматам (USD, glTF), облачным платформам стриминга, появлением специализированных строительных AR-очков и интеграцией пространственного ИИ для автоматической калибровки сцен. В методологическом плане необходима унификация классификаторов иммерсивных сценариев и регламентов передачи данных на стыках этапов [6, 8].

Таким образом, эффективность VR/AR в строительстве определяется не столько отдельными устройствами, сколько методологией бесшовной передачи геометрических и семантических данных на всем жизненном цикле. Представленный пайплайн опирается на три интерфейса, наиболее критичным из которых является переход «строительство – эксплуатация», где чаще всего утрачивается атрибутивная информация. Общим ограничением для всех рассмотренных решений остается отсутствие единого формата обмена, порождающее промежуточные конвертации и риск рассинхронизации. Технические, организационные и нормативные барьеры сдерживают масштабное внедрение, однако предложенная модель, фиксирующая архитектуру информационных потоков и точки наибольшей уязвимости, создает основу для разработки отраслевых регламентов и требований к API, способствуя переходу от фрагментарного использования иммерсивных технологий к целостной цифровой экосистеме 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. Оптимизация технологических процессов в строительном производстве с помощью BIM-технологий / Л. А. Сулейманова, Р. Н. Темурзиева, И. С. Рябчевский // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф., Белгород. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 121-127.
4. Рябчевский И. С. Технологии BIM в процессе управления жизненного цикла объектов строительства / И. С. Рябчевский, И. А. Чесноков, И. С. Сулейманов // VII Международный студенческий строительный форум - 2022: сб. докл. VII Международного студенческого строительного форума. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 138-144.
5. Полянская В. А. Перспективы применения ИИ в автоматизированной проверки соответствия строительной документации нормативным требованиям / В. А. Полянская //

Инновационные технологии: сб. докл. 6-й Международной научно-технической конференции. Бургас, 2025. – С. 169-173.

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. 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 Международной научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 168-172.

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 Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Т. 1. – С. 240-245.

9. Сулейманова Л. А. Использование компьютерного зрения на основе сверточных нейронных сетей при оптимизации строительных процессов / Л. А. Сулейманова, И. С. Рябчевский, А. М. Левшин, Е. В. Овчинников // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. IX Международной научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 173-178.

10. Сулейманова Л. А. Анализ методов прогнозирования энергопотребления при управлении жизненным циклом объектов капитального строительства / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди // 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. 229-235.

11. Сулейманова Л. А. Оптимизация энергосбережения при управлении жизненным циклом объектов строительства на этапе проектирования / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди, О. Н. Шарапов, А. Ю. Черенков // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № 5. – URL: <https://esj.today/PDF/05SAVN524.pdf>.

12. Сулейманова Л. А. Прогнозирование энергопотребления здания на основе нейронных сетей / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди // Университетская наука. – 2023. – № 2(16). – С. 65-67.

13. Fang, Y. Scan-to-BIM-to-Sim: Automated reconstruction of digital twin models for bridges from imperfect point clouds. // Automation in Construction. – 2025. – Vol. 173. – P. 105934.

Лимощенко В.А.

*Научный руководитель: Дрокин С.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН АВАРИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На сегодняшний день существует множество причин, приводящих к авариям зданий и сооружений. Анализ аварийных ситуаций в строительной практике показал, что они, в основном, вызваны нарушением норм и правил проектирования, технологии возведения зданий и сооружений, а также ошибками эксплуатации. Соблюдение всех действующих норм и правил гарантирует надежность строительных объектов при различных технологических и природных воздействиях и обеспечивает безопасность человека в процессе их квалифицированной эксплуатации [1, 2].

Исследования показывают, что основными причинами аварий строительных конструкций являются [3]:

- нарушение технологии строительства (59%);
- ошибки на стадии проектирования (27%);
- неправильная эксплуатация готового объекта (14%).

Большее половины случаев аварий возникают в виду низкого качества строительно-монтажных работ. Это понятие подразумевает не только посредственное соблюдение технологии строительства, но и грубые ошибки в процессе строительного производства. К таким случаям можно отнести изменение конструктивной схемы сооружения.

Показательным примером является авария, произошедшая в 1981 году в американской гостинице Hyatt Regency города Канзас-Сити. В холле здания была реализована архитектурная идея «парящих мостов», которая предполагала три подвесные галереи, закрепленные на шпильках к потолку. Одна секция находилась на уровне третьего этажа, две другие – на уровнях второго и четвертого, и были закреплены общей шпилькой. В ходе строительства рабочие без согласования с проектировщиками изменили конструктивную схему парных галерей, что привело к неправильной работе конструкции (рис. 1). В итоге, на одну гайку действовал вес сразу двух галерей, составная балка моста не выдержала (рис. 2) и деформировалась, подвесная галерея четвертого этажа сначала просела на пару десятков сантиметров, а потом полностью рухнула на находившийся прямо под ней мостик второго

уровня. В следующее мгновение уже обе дорожки длиной 37 метров и весом в 29 тонн каждая упали в переполненный людьми холл. Жертвами аварии стали 111 человек, погибших на месте, еще трое умерли по дороге в больницу. Те или иные травмы получили 216 гостей отеля.

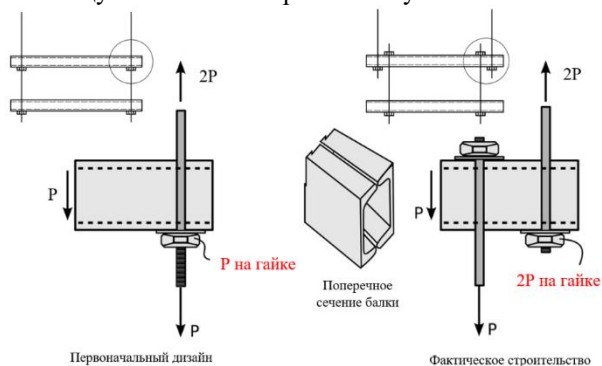


Рис. 1. Закрепление подвесных галерей шпильками



Рис. 2. Деформированная балка моста и последствия аварии

Не менее трагичной аварией стал случай обрушения железобетонной оболочки покрытия аквапарка «Трансвааль-парк» в Москве. На основании собранных в ходе следствия данных объективно установлено, что причиной частичного обрушения "Трансвааль-парка" явился комплекс проектных ошибок, обусловленных грубыми просчетами при разработке проекта, в результате которых построенное сооружение не отвечало нормативным требованиям по безопасности и надежности [4]. Точная причина аварии до сих пор не выявлена. Видеокамеры зафиксировали динамическое разрушение одной из несущих колонн, что увеличило пролет конструкции вдвое, после которого последовало лавинообразное обрушение оболочки (рис 3). Обозначенными ошибками остались неправильно возведенный

фундамент, непринятие в расчёт деформаций сдвигового и радиального характера. По официальным данным "Трансвааль-парк" унёс жизни 28 человек, 8 из которых – дети. Более 120 людей получили тяжёлые ранения и повреждения.



Рис. 3. Покрытие аквапарка до и после обрушения

При правильном проектировании и строительстве зданий и сооружений необходимо обеспечить нормальные условия эксплуатации конструкций. Нарушение этих условий приводит к повреждениям, а в последствии может привести к тяжелым авариям.

В здании плавательного бассейна «Дельфин» в городе Чусовом произошло обрушение конструкции покрытия в результате разрыва горизонтальной стыковой накладки и фасонки в монтажном узле нижнего пояса фермы [5]. Главным фактором, вызвавшим разрыв стало уменьшение площади рабочего сечения вследствие коррозии металла (рис. 4). Основной причиной сильной локальной коррозии стало систематическое замачивание этого узла атмосферными осадками из-за нарушения герметичности гидроизоляционного ковра в месте примыкания его к вытяжной шахте. Также был нарушен температурно-влажностный режим помещения в виду нарушений эксплуатации вытяжной шахты – расположенный в ее основании дощатый настил нарушал условия воздухообмена, что привело к конденсации влаги, которая вместе с атмосферными осадками разрушала металл фермы (рис. 5). Крыша рухнула прямо на отдыхающих. Погибли 14 человек, 10 из которых – дети.



Рис. 4. Поврежденная ферма до обрушения и после

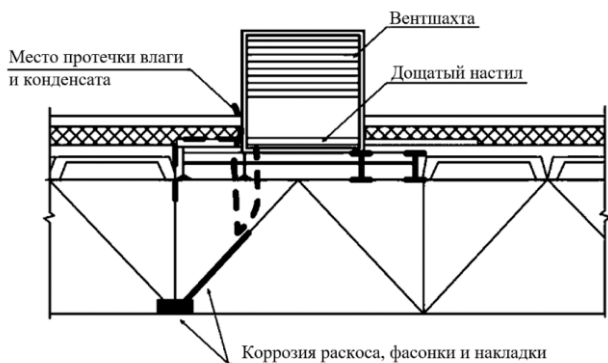


Рис. 5. Схема процесса коррозии фермы

Динамика аварийных случаев в процессе проектирования, строительства и эксплуатации не имеет тенденции к снижению. Неосведомленность проектировщиков, строителей и предприятий, эксплуатирующих здания и сооружения, о произошедших авариях и их причинах приводит к повторению их на других объектах. Разработка и внедрение мер по предотвращению аварий должны осуществляться комплексно на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глаголев, Е.С. Развитие жилищного строительства в России / Е.С. Глаголев, Л.А. Сулейманова, М.В. Марушко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 1. – С. 17-22.
2. Богдан, И.А. Анализ причин аварии в процессе проектирования, строительства и эксплуатации гражданских зданий / И.А. Богдан, Д.Е. Богдан // VII Международный студенческий строительный форум –

2022: Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума, Белгород, 24 ноября 2022 года. – 2022. – №2 – С. 108-111.

3. Кириллова, А.А. Анализ причин аварий строительных конструкций / А.А. Кириллова, Б.А. Манджиев, М.И. Петрачков, Е.В. Постный // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования Комсомольского-на-Амуре государственного университета, Комсомольск-на-Амуре, 07–08 октября 2025 года. – 2025. – №1 – С. 60-63.

4. Свотин, А.Н. Анализ причин возникновения дефектов в строительных конструкциях / А.Н. Свотин, Д.А. Егорова // Синергия Наук. – 2017. – № 17. – С. 493-501.

5. Полимонов, В.А. Анализ причин аварий покрытия бассейна "Дельфин" в Г. Чусовом / В.А. Полимонов, А.В. Калугин, В.В. Коркодинов [и др.] // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 6-21.

УДК 621.311.25:621.039

Мартелов Н.В.

Научный руководитель: Марьин Г.Е. канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

ОЦЕНКА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Переход на альтернативные топлива сдерживается в первую очередь тем, что их применение в традиционных энергосистемах даёт более низкую тепловую эффективность. У большинства таких топливных газов низкая теплота сгорания, да и горят они иначе, чем природный газ. Поэтому, прежде чем переводить газотурбинную установку на такие газы, нужно предварительно оценить, а потом и спрогнозировать, как изменятся её рабочие параметры.

Использовать нетрадиционные возобновляемые источники энергии для выработки электричества и тепла сегодня стараются и у нас, и за рубежом. Такой подход позволяет, во-первых, утилизировать отходы предприятий, во-вторых, снижать нагрузку на окружающую среду, в-третьих, давать энергию потребителям в удалённых районах, куда не доходит центральное снабжение [1,2]. Проблема в том, что у большинства таких источников низкий КПД преобразования первичной

энергии в полезную. Поэтому часто рассматривают гибридные энергосистемы, где вместе работают и обычное генерирующее оборудование (газопоршневые и газотурбинные установки, водогрейные и паровые котлы, паровые и парогазовые установки), и альтернативные источники (солнечные панели и коллекторы, ветрогенераторы, тепловые насосы) [3]. При такой комбинации эффективность использования возобновляемой энергии повышается, а потребление невозобновляемой – снижается. Газотурбинная установка вырабатывает электроэнергию, сжигая топливный газ в камере сгорания. При этом на выходе образуются выхлопные газы с довольно высоким тепловым потенциалом – их тепло можно использовать либо в самом цикле ГТУ, либо направить на выработку тепловой энергии.

Сейчас для ГТУ чаще всего используют природный газ – у него высокая теплотворная способность, и в нашей стране он доступен практически везде.

Однако в некоторых случаях приходится переходить на нетрадиционные топливные газы. Причины бывают разные:

накапливаются большие объёмы технологических газов, утилизировать которые сложно или дорого;

в регионе много органических отходов или твёрдых бытовых отходов;

в изолированных районах просто нет магистрального природного газа.

В каждой такой ситуации может оказаться возможным сжигать свой альтернативный газ [4, 5].

Поскольку конструкция ГТУ и её штатные режимы заточены под природный газ, при переходе на другие газы нужно заранее оценить, как изменятся эксплуатационные характеристики. Это позволит понять, насколько эффективным будет такое решение, и при необходимости разработать меры для повышения эффективности ещё до ввода в эксплуатацию.

Важно учитывать не только изменение теплоты сгорания, но и то, как компонентный состав альтернативного газа влияет на кинетику горения. Балластные компоненты (азот, углекислый газ) или активные примеси (водород, оксид углерода) могут изменить температуру в камере сгорания, скорость распространения пламени – а это, в свою очередь, повышает риск термоакустических колебаний или проскока факела.

В качестве базовой установки взята ГТУ Taurus 60-7901S с характеристиками:

номинальная электрическая мощность – 5,7 МВт;

расход воздуха на входе в компрессор – 21,6 кг/ч;
степень сжатия в компрессоре – 12,2;
температура выхлопных газов – 510 °С.

Для расчётов использовали автоматизированную систему газодинамических расчётов энергетических турбомашин (АС ГРЭТ). Модель настраивали по заводским характеристикам, сравнивая расчётные параметры с паспортными.

Рассматриваемые топлива

Природный газ Уренгойского месторождения – низшая теплота сгорания ($Q_{\text{нр}}$) = 47,325 МДж/м³.

Технологические газы:

от термического крекинга – $Q_{\text{нр}} = 45,237$ МДж/м³;

от риформинга бензина – $Q_{\text{нр}} = 46,57$ МДж/м³.

Синтез-газ (газификация угля) – $Q_{\text{нр}} = 16,164$ МДж/м³.

Биогаз (сбраживание органических отходов) – $Q_{\text{нр}} = 23,249$ МДж/м³.

Простая замена природного газа низкокалорийными топливами (синтез-газ, биогаз) без дополнительных мер приводит к заметному падению технико-экономических показателей ГТУ – это недопустимо. Для таких газов нужна либо подмесь высококалорийного топлива, либо переделка системы топливоподачи. А вот технологические газы (крекинг, риформинг) – вполне подходят для адаптации режимными методами, без больших капитальных затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Илюшин П.В., Подходы к оценке возможности обеспечения надежного электроснабжения потребителей за счет строительства объектов распределенной генерации / П.В. Илюшин, Ю.Н. Кучеров // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. -2014. № 5. - С. 2-7
2. Илюшин П.В. Анализ обоснованности уставок устройств РЗА генерирующих установок с двигателями внутреннего сгорания на объектах распределенной генерации // Релейная защита и автоматизация. - 2015. № 3 (20). - С.24-29.
3. Marin G. E. A study on the operation of a gas turbine unit using hydrogen as fuel / G. E. Marin, D. I. Mendelev, B. M. Osipov // Journal of Physics: Conference Series : International Conference on Aviation Motors, ICAM 2020, Moscow, 18–21 мая 2021 года. Vol. 1891. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012055.

4. Marin G. E. Increasing the efficiency of a conversion gas turbine engine by adding hydrogen to fuel gas / G. E. Marin, A. V. Titov, A. R. Akhmetshin, A. V. Ishalin // International Journal of Hydrogen Energy. – 2025. – Vol. 97. – P. 649-656.

5. Марьин, Г.Е. Оценка эффективности подогрева различных видов топлива перед камерой сгорания газовой турбины / Г.Е. Марьин, П.В. Илюшин, А. Р. Ахметшин // Энергетик. – 2025. – № 1. – С. 21-25.

УДК 621.515:621.036:62-252

Маховицкий В.Г.

*Научный руководитель: Чертов В.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г.Шухова г. Белгород, Россия*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ, РАСЧЁТНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСЕРАДИАЛЬНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОЛЕС

Актуальность темы обусловлена растущими требованиями к энергоэффективности и надёжности турбомашин. В условиях ужесточения экологических норм и роста стоимости энергоресурсов оптимизация осерадиальных колёс становится критически важной задачей.

Осерадиальные центробежные колёса — один из главных компонентов широкого спектра турбомашин: вентиляторов, компрессоров, воздуходувок и др. Их употребление охватывает энергетику, авиацию, нефтехимию, водоснабжение и др. отрасли промышленности.

Современные проекты требуют: повышения эффективности на 5 и более процентов; снижения массогабаритных характеристик на 15 %; увеличения ресурса работы в 2 раза, а то и больше; адаптации к широкому диапазону режимов эксплуатации.

Область эффективного применения осерадиальных ступеней турбокомпрессоры (как основные компрессоры для малорасходных двигателей и концевые ступени осерадиальных компрессоров) и промышленные центробежные компрессоры, где степень повышения давления $\pi_k = 4-15$, изэнтропическая эффективность от 0,75 до 0,85);

По мимо этого, высоконапорные насосы с напором до 400 м; системы вентиляции и кондиционирования; газоперекачивающие агрегаты и холодильные компрессоры.

Ключевые достоинства осерадиальных колёс перед чисто осевыми и радиальными решениями:

- ✓ сочетание высокой напорности (за счёт радиальной составляющей потока) и компактности (благодаря осевой составляющей);

- ✓ более широкий рабочий диапазон по сравнению с чисто радиальными колёсами;

- ✓ лучшая устойчивость к кавитации по сравнению с осевыми машинами;

- ✓ возможность достижения высоких степеней повышения давления в одной ступени;

- ✓ оптимальное распределение нагрузок между осевыми и радиальными подшипниками;

- ✓ меньшие габариты при сопоставимых параметрах напора.

Из конструктивных особенностей выделяем, определяющую спецификацию работы в смешанном типе потока (осевая и радиальная составляющие скорости) со сложной трёхмерной структуре течения в межлопаточных каналах.

А также влияние массовых сил (центробежных и кориолисовых) на характеристики потока, наличие вторичных течений и зон пониженных скоростей («зона следа»); критические зависимости от точности изготовления и балансировки.

Целью данной работы — систематизировать запас сведений о взаимосвязи, таких как:

- гидродинамических процессов в проточной части;
- конструктивных решений и их влияния на активные характеристики;
- расчётных параметров и методов их определения;
- технологий изготовления и их ограничений;
- условия эксплуатации и их влияния на долгую службу и надёжность.

Задачи изучения состоят в том, чтобы проанализировать фундаментальные уравнения гидродинамики (в т. ч. уравнение Эйлера) применительно к осерадиальным колёсам.

Исследовать влияние ключевых геометрических параметров (углов входа/выхода, числа лопаток, солидности, меридиональной геометрии) на рабочие характеристики.

Оценить влияние технологических факторов (методов изготовления, допусков, шероховатости) на конечные параметры изделия.

Рассмотреть прочностные аспекты проектирования, включая анализ напряжений, усталостных характеристик и роторной динамики.

Изучить влияние эксплуатационных факторов (температуры, кавитации, износа, вибраций) на долговечность и эффективность.

Разработать рекомендации по оптимизации проектирования с учётом компромиссов между эффективностью, надёжностью и стоимостью.

Обозначить перспективные направления развития конструкций и технологий изготовления осерадиальных колёс [1].

Практическая ценность исследования заключается в возможности:

Первое, использовать систематизированные знания о проектировании осерадиальных колёс в инженерной практике;

Второе, применять разработанные методики расчёта и оптимизации для повышения эффективности проектирования;

Третье, опираться на сформулированные рекомендации при выборе конструктивных решений;

Четвертое, внедрять предложенные подходы для повышения надёжности и долговечности изделий;

Пятое, сжать сроки проектирования за счёт использования верифицированных методик и моделей.

Результаты исследования будут полезны инженерам-конструкторам, исследователям в области турбоагрегатов, аспирантам и студентам соответствующих специальностей. Они позволят улучшить качество проектных решений, сокращая затраты на опытно-конструкторские работы и обеспечить создание более эффективных и надёжных турбоузлов.

1. Гидродинамические основы и ключевые уравнения

Уравнение Эйлера для турбоагрегатов задаёт фундаментальную связь между геометрией лопатки, оборотами и напором:

$$gH = U_2 * c_{\theta 2} - U_1 * c_{\theta 1}$$

где: H — удельный напор (м); g — ускорение свободного падения; $U = \omega R$ — кольцевая скорость в точке; $c_{\theta 2}$ — круговая составляющая абсолютной скорости потока на входе и выходе.

Безразмерные коэффициенты позволяют сравнивать конструкции разных типоразмеров:

- коэффициент расхода:

$$\phi = \frac{Q}{\omega D^3} \text{ либо } \frac{Q}{U_2 A_2}$$

- коэффициент напора:

$$\psi = \frac{gH}{U_2^2} \text{ либо } \frac{gH}{\omega^2 D^2}$$

- удельная скорость:

$$N_s = \frac{\sqrt[n]{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Где N_s – критерий выбора типа лопаточного венца

Потери в колесе складываются из вязкого трения на пограничных слоях (условно до двадцати пяти процентов от общих потерь) и утечек («торцовых», через направляющие каналы, до 15 %); а также вихреобразования в местах перегиба потоковых линии «вторичные течения».

При высоких скоростях необходимо учитывать **сжимаемость потока по критерию Маха**

$$M = \frac{u}{a} > 0,3$$

Где u – скорость газового потока, a — скорость звука.

Для газовых турбокомпрессоров актуально скачки уплотнения; локальные дозвуковые и сверхзвуковые участки; искажения профилей скоростей и воздействие фронтов ударных волн.

Для моделирования используют модель «RANS-симуляции» с моделями турбулентности (k-w) для установившихся режимов потока и метод «LES» для предсказания сильных нестационарных эффектов [2].

2. Конструктивные параметры и их влияние

Ключевые геометрические параметры как:

- угол входа потока (β_1) обычно берется от 15 до 45 градусов для осерадиальных колёс;
- закрутка лопаток: условно от 90 до 180 градусов;
- отношение ротора к ступице: 0,4–0,8;
- число лопаток, следовательно, 6–12 для насосов и 12–24 для компрессоров;
- S - солидность ($S=s/c$, где c — хорда, s — шаг): 1–2;
- меридиональная геометрия прохода (конфузор/диффузор);
- профиль лопатки в сечении (S -образный, параболический).

Влияние конструктивных решений:

- Угол выхода лопатки (β_2) — значит увеличение угла закрутки повышает теоретический напор, но повышает риск срыва потока,

поэтому оптимальные значения будут от 45 до 90 градусов для высоконапорных колёс.

- S – солидность определяемая как отношение длины хорды к межлопастному шагу, служит датчиком "заполненности" канала. Чем выше эта солидность, тем самым снижается вероятность разделения потока и позволяет работать при больших углах отклонения потока, но возвышает гидравлические потери за счёт силы трения и увеличивает массу лопатки. Оптимальные значения солидности находятся экспериментально и зависят от числа лопастей, геометрии и рабочего диапазона расходов.

- Меридиональная конфигурация прохода проверяет распределение скоростей и плотности потока по радиусу. При конфузورных форм не возникает отрыв, а диффузорные — поднимают эффективность.

- Заслонки уменьшают торцовые утечки условно до 10 градусов эффективности, но усложняют балансировку и теплоотвод.

- Демпферы сглаживают входной поток и смягчают пульсации у больших диаметров.

- Зазоры торцовый зазор 0,2 мм от диаметра снижает утечки без риска задевания [3].

3. Прочностные расчёты и роторная динамика

Центробежная нагрузка вызывает напряжения, масштабируемые по формуле:

$$\sigma \approx \rho * w^2 * R^2$$

Где ρ — плотность материала, w — угловая скорость, R — радиус.

Методы оценки прочности заключаются в статических расчётах («балочные» модели для лопатки), методика конечных элементов (FEA) для учёта сложных геометрических форм и температурных напряжений, и анализ «усталостных» режимов (кривые Веллера «SN», критерии «Goodman» или «Gerber»).

Роторная динамика включает в себя определение критических частот через модальный анализ; построение диаграммы «Кэмпбелла» для избежание резонансов, и балансировку ротора по стандарту «ISO 1940-1» (классы G1.0–G6.3).

Критические частоты часто зависят от жёсткости конструкции (венец, лопатки, заслонки), распределения масс и условий закрепления.

4. Технологии изготовления и контроль качества

Методика производства основана на литье (чугун, нержавеющая сталь) для массовых насосов;ковки и мехобработки для высокопрочных сплавов (09Г2С, 17-4РН, 316L, никелевые суперсплавы), и аддитивные

технологии в виде 3D-печати для сложной геометрии, но с риском пористости.

Проверки на контроль качества проявляется в геометрической проверке с точностью 0,01–0,05 мм, измерение шероховатости (Ra) с точностью 0,5–1,5 мкм для проточной части, различные испытания на статическую прочность (гидравлика/пневматика) и динамическая балансировка по стандарту ISO 1940-1.

Технологические ограничения: зависят от минимальной толщины стенки от 2 до 5 мм для литья, а от 1 до 3 мм дляковки, далее радиусы закруглений больше или равно 1 мм в корнях лопаток, а также допуски на углы $\pm 0,5$ –1 градусов и термообработка (отжиг, закалка) для снятия напряжений [4].

5. Влияние условий эксплуатации. Ключевые факторы:

1. Температура, где влияет на тепловые зазоры и деформации. В газовых агрегатах тепловые напряжения критичны и зачастую не допустимы. Допустимые перепады от 50 до 150 С.

2. Кавитация в сфере насосов большей части возникает при локальном давлении, то есть ниже давления насыщения, вызывает эрозию лопаток. Управляется через форму входной части «индукторы», возвышение давления на входе и снижение скорости потока.

3. Износ и коррозия в этом плане зависят от агрессивности среды и твёрдых частиц, тем самым решается это выбором материалов и покрытий хромирование с толщиной 10–50 мкм, гальваника (никель, цинк) и полимерные покрытия в виде эпоксидной смолы (см. табл.1).

4. Вибрации неотъемлемый фактор усиливающее усталостное разрушение, но её можно только контролировать мониторингом применяя акселерометры, виброметры, и балансировкой с допустимым уровнем: 2,8–4,5 мм/с по стандарту ISO 10816.

6. Практические балансы. Балансировка параметров по эффективность, надёжности и стоимости:

➤ *Высокоэффективные решения* заключаются в закрытые колёса с тонкими профилями и малыми зазорами (0,2–0,5 % от диаметра), изготовленные из различных высокопрочных сплавов (никелевые суперсплавы, титановые сплавы), с последующей финишной обработкой и динамической балансировкой (класс G1.0–G2.5 по стандарту ISO 1940-1).

➤ *Экономичные решения* исследуются, как, к примеру литые открытые импеллеры из коррозионностойких чугунных сплавов с упором на технологичность и ремонтпригодность (класс балансировки G6.3).

➤ *Зазоры и шероховатости* наблюдаются в увеличении торцового зазора на 0,1 мм, благодаря этому снижается эффективность на 3–5 градусов, поэтому более оптимальная шероховатость проточной части (Ra) равна от 0,4 до 0,8 мкм.

➤ Скоростные ограничения видны под контролем периферийной скорости для избежания сверхзвуковых эффектов, как описывалось выше ($M > 0,3$). Для газкомпрессоров критическая скорость обычно ограничивается в диапазоне 300–450 м/с.

➤ По тепловым режимам идет учёт температурных расширений при проектировке зазоров (допуск 0,05–0,15 мм на 100 °С перепада).

Таблица 1. Ошибки проектирования и способы их устранения

Ошибки проектирования		Способы их устранения
1	Неучёт кавитации: приводит к эрозии лопаток	расчёт «NPSH _r » и оптимизация входной части
2	Недостаточная балансировка: вызывает вибрации	динамическая балансировка по ISO 1940-1
3	Игнорирование тепловых расширений: приводит к задеванию	расчёт зазоров с учётом температурных полей.
4	Оптимизация только по КПД: снижает надёжность	многокритериальная оптимизация (КПД, прочность, стоимость).
5	Пренебрежение нестационарными эффектами: вызывает усталостное разрушение	CFD-анализ пульсаций давления и модальный анализ.

Практические примеры предлагаемых решений:

Первое, для насосов питьевой воды предпочтительный приоритет — коррозионная стойкость и низкая стоимость (нержавеющая сталь 316L, 09Г2С, литьё).

Второе, для авиакомпрессоров предпочтительный приоритет — удельная прочность и термостойкость (титановые сплавы, аддитивные технологии).

Третье, для промышленных воздуходувок необходим баланс между эффективностью и стоимостью (алюминиевые сплавы,ковка).

Перспективные направления развития. Аддитивные технологии так скажем создание внутренней геометрии для снижения потерь (решётки, турбулизаторы). Различные инновационные сплавы с памятью формы для адаптации к режимам работы. Сочетание композитных лопаток с металлическими ступицами.

Помимо этого, также различные датчики давления и температуры в лопатках для предиктивного обслуживания. Применение экологичных и в тоже время биоразлагаемых материалов для насосов питьевой воды.

А также, создание виртуальных моделей для прогнозирования износа и планирования ТО [5].

Проектирование осерадиальных колёс требует комплексного подхода, объединяющего аналитические методы по типу уравнение Эйлера, безразмерные коэффициенты; численное моделирование в виде CFD, FEA, ротодинамика; экспериментальную валидацию (стендовые тесты, мониторинг), и учёт технологических ограничений по материалам, допускам, балансировки.

Таким образом, исходя из ранее приведенной информации и расчетов, формируются ключевые выводы:

- ✓ Гидродинамика определяет энергетические характеристики и параметры, но ограничена прочностными и технологическими факторами.

- ✓ Баланс между эффективностью, надёжностью и стоимостью требуют многокритериальной оптимизации.

- ✓ Современные технологии (аддитивное производство, виртуальные модели) открывают новые возможности для повышения эффективности.

- ✓ Валидация моделей на прототипах сокращает риски и затраты на поздних стадиях проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маховицкий, В. Г. Совершенствования конструкций пневморазгрузочного оборудования/ В. Г. Маховицкий, В. Г. Чертов// Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: Сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок, Курск, 01 декабря 2025 года. Том 4. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2025. – С. 116-121.

2. Чумаков Ю.А. Теория и расчет транспортных газотурбинных двигателей: учебник/Ю.А.Чумаков. –М.: Форум, 2014. –448 с.

3. Чертов, В. Г. Оборудование и процессы мобильных пневмотранспортных установок: специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Чертов Виктор Геннадьевич. – Белгород, 2010. – 20 с.

4. Данилишин А. М, Кожухов Ю. В, Симонов А. М. Комплексный метод автоматизированного проектирования двухзвенных ступеней с осерадальным работал колесом центробежных компрессоров. Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 3-11.

5. Галеркин Ю.Б. Турбокомпрессоры. Рабочий процесс, расчет и проектирование проточной части. М.: ООО «Информационно-издательский центр КХТ», 2010. 596 с.

УДК 614.876.084

Мельтешинова Д. Д., Пузанова В. В., Кузьмин Р. Е.
Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Деятельность атомной промышленности основывается на закрытых и открытых источниках радионуклидов. Данные источники имеют существенные различия в специфике действия и влияния на окружающую среду. Тем не менее на сегодняшний день в промышленной практике активно применяются оба вида источников.

Радионуклид - это совокупность атомов с определенным числом протонов и нейтронов в ядре, обладающих радиоактивностью. А радионуклидные источники представляют собой объекты, в которых происходит постоянный процесс радиоактивного распада. Такие источники могут быть как природного, так и техногенного происхождения. Закрытые источники - радионуклидные источники излучения, устройство которых исключает поступление содержащихся в них радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан, а также устройства, генерирующие ионизирующее излучение (рентгеновские аппараты и т.д.). При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения человек подвергается только внешнему облучению [1, 2].

Как уже было сказано, закрытые источники это те, которые при нормальной эксплуатации исключают поступление в окружающую среду содержащихся в них радиоактивных веществ. Такие источники излучения используются: на судах, в медицине, в дефектоскопах, в химической промышленности, строительной индустрии, металлургии, легкой промышленности, пищевой промышленности, геологии, сельском хозяйстве, научных исследованиях. Закрытые источники

ионизирующего излучения по характеру действия могут быть условно разделены на две группы: а) источники излучения непрерывного действия; б) источники, генерирующие излучение периодически. К первой группе относятся гамма-установки различного назначения, нейтронные, бета- и гамма-излучатели; ко второй - рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц. Закрытые источники стали основой высокоточной радиохирургии и терапии: гамма-ножи и стереотаксические установки позволяют удалять опухоли, а метод нейтрон-захватной терапии обеспечивает прицельное уничтожение пораженных клеток, оно незаменимо для стерилизации медицинского оборудования и проведения радионуклидной диагностики. В промышленном и научном секторах радиационные установки позволяют проводить микробиологические и химические исследования. Метод нейтронографии дает ученым возможность изучать структуру материалов, содержащих легкие элементы (например, водород), что недоступно для обычного рентгена. Также нейтронные потоки являются базой для работы ядерных реакторов, а в аграрном секторе они используются для облучения семян, что значительно повышает урожайность и качество культур [1-4].

При использовании вышеперечисленных установок и оборудования, в целях обеспечения биологической защиты человека, который работает с таким оборудованием, необходимо осуществлять комплекс мер по организации радиационной защиты. Она может быть выполнена из различных радиационно-защитных материалов и конструкций [5-17].

Для защиты от радиации при использовании закрытых радионуклидных источников необходимо учитывать несколько ключевых факторов. Прежде всего, решающую роль играют расстояние и время: чем дальше человек находится от источника и чем меньше времени он проводит в зоне поражения, тем ниже полученная доза облучения. Дополнительным барьером служит радиационно-защитное экранирование, при котором такие материалы, как свинец, бетон, вода и другие радиационно-защитные материалы эффективно блокируют радиационное излучение различной природы. Весьма важным является непрерывный мониторинг радиационного фона на объектах, где используются источники закрытого типа, который позволяет своевременно оценивать угрозы и предотвращать возможный вред здоровью населения. При необходимости, осуществляется информирование граждан о существующих источниках излучения; а в случае возникновения внештатной ситуации, осуществляется система оповещения. Для минимизации последствий загрязнения при

необходимости проводят деконтаминацию — комплексную очистку территорий, объектов и инфраструктуры от радиоактивных веществ. Не менее важным этапом является строгое захоронение радиоактивных отходов: их классифицируют по уровню активности и направляют на специализированные пункты хранения, чтобы полностью исключить вред для окружающей среды. Наконец, долгосрочная защита обеспечивается за счет строительства радиационно-защитных укрытий и сооружений, эффективно экранирующих радиационное излучение [18].

Для индивидуальной защиты персонала от ионизирующего излучения, работающего в организациях, использующих источники закрытого типа можно применять свинцовую одежду, сапоги, фартуки, а также комбинезоны, перчатки, щитки, респираторы, изолирующие пневмокостюмы и пневмошлемы [19].

Таким образом, для обеспечения надежной радиационной безопасности при работе с закрытыми радионуклидными источниками применяется комплексный подход, основанный прежде всего на принципе сокращения времени пребывания в зоне действия ионизирующего излучения и максимальном увеличении расстояния от источника до человека, а также использование высокоэффективных радиационно-защитных материалов и конструкций с осуществлением постоянного дозиметрического контроля и регулярной проверки целостности защитных оболочек источников, что позволяет своевременно предотвращать износ оборудования и гарантировать полную безопасность труда и сохранение экологического благополучия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радионуклидные источники (рни) излучения. – Текст : электронный // StudFiles : [сайт]. – URL: studfile.net (дата обращения: 20.04.2026).
2. Гамма-излучение // Большая российская энциклопедия : [сайт]. — 2026. — URL: bigenc.ru (дата обращения: 20.04.2026).
3. Михадарова, С. А. Закрытые источники излучения // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл» : [сайт]. — URL: <http://12sanepid.ru> (дата обращения: 20.04.2026).
4. Современные методы нейтронной радиографии и томографии в исследованиях внутреннего строения объектов / К. М. Подурец, С. Е. Кичанов, В. П. Глазков [и др.] // Кристаллография. - 2021. - Т.66, №2. -

С. 256-270. - DOI 10.31857/S0023476121020119. - EDN UMHIDG.(дата обращения: 20.04.2026).

5. Черкашина, Н. И. Влияние высоких давлений прессования при синтезе на изменение физико-механических характеристик полимерных композитов на основе термопластичных эластомеров / Н. И. Черкашина, Э. В. Прут, П. В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 155-159. – DOI 10.12737/22762.

6. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

7. Городов, А. И. Внедрение частиц гидрида циркония в сетчатую структуру хризотила / А. И. Городов, П. В. Матюхин, В. В. Солгалов // Научные 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. 458-463.

8. Павленко, В. И. Эманирующая способность радона минерального сырья, используемого при изготовлении строительных бетонов / В. И. Павленко, Ю. В. Ветрова, П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 39-43.

9. Самойлова, Ю. М. Композиционный материал на основе алюминиевого сплава, наполненного высокодисперсными модифицированными оксидами железа и висмута : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самойлова Юлия Михайловна, 2015. – 153 с.

10. Использование органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету / З. В. Павленко, Л. В. Денисова, П. В. Матюхин, Д. А. Иваницкий // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9-3. – С. 515-518.

11. Патент № 2572271 С1 Российская Федерация, МПК B22F 1/02, C01B 6/34. Способ нанесения боросиликатного покрытия на частицы гидрида титана : № 2014131233/02 : заявл. 28.07.2014 : опубл. 10.01.2016 / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, О. В. Куприева [и др.]; заявитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", г. Белгород.

12. Снижение радиоактивных загрязнений поверхности стальных конструкций радиационно-защитного транспортного контейнера на основе железорудного сырья КМА / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 228-234.

13. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.

14. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

15. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

16. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

17. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide / A. I. Gorodov, A. A. Mogutova, P. V. Matyukhin, D. S. Romanyuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388, No. 1. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012116.

18.Васикова А.Защита от радиации: как обезопасить себя и близких/ А. Васикова.-Текст:электронный // Наука Mail: [сайт].-2025.-29дек.-URL<https://science.mail.ru> (дата обращения:02.05.2026).

19.Николаев, А. Средства индивидуальной защиты от радиации / А. Николаев. — Текст : электронный // Лабораторные измерения и охрана труда: [сайт]. — 2022. — 10 ноября. — URL: <https://laboratoria.by> (дата обращения: 02.05.2026).

УДК 621.315.1

Минкина А.А.

*Научный руководитель: Минкин А.С., канд. физ.–мат. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Россия*

АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Анализ причин аварийных отключений в сетях 110 кВ и выше за 2022год, проведенный ПАО «Россети Центр», показал, что 44% отключений произошли из-за воздействия стихийных явлений [1]. Стихийные явления – это грозовые разряды, ветровые нагрузки, гололедно-изморозевые отложения и т.д. Из этих воздействий на воздушные линии электропередачи (ЛЭП), которые приводят к наиболее серьезным и трудно устранимым повреждениям, являются гололедно-изморозевые отложения на её проводах. Эти отложения создают дополнительную механическую нагрузку и при достижении толщин стенок до критических значений. могут привести к нагрузкам, равным разрывной [2]. Статистика аварийных отключений на объектах энергетики по причине гололедообразования составляет $11\pm3\%$ от общего числа аварий [3]. Для предотвращения аварий на воздушных ЛЭП по причине гололедообразования на проводах важно своевременно обнаруживать его появление и контролировать за его изменением, чтобы своевременно приступить к его удалению. Существуют различные методы обнаружения гололеда на воздушных ЛЭП, основанные на измерениях различных величин, на которые влияют его появление. Первый метод – это локационный метод обнаружения гололедных отложений на проводах воздушных ЛЭП [4,5], он основан на измерениях и программной обработке значений затухания и запаздывания отраженных импульсных сигналов, которые распространяются по фазным проводам ЛЭП, на которых организован

высокочастотный тракт. Амплитуда и время прихода отраженных импульсных сигналов зависят от изменения волнового сопротивления, которое может вызываться появлением гололедных отложений на проводах ЛЭП. Программно-аппаратный комплекс локационного зондирования позволяет определить наличие гололедного отложения на проводах, следить за его изменением, определять его толщину стенки и плотность, и выдавать информацию в диспетчерский пункт о степени опасности. Схема присоединения локационного комплекса к ЛЭП и примеры рефлектограмм показаны на рисунке 1 [4].

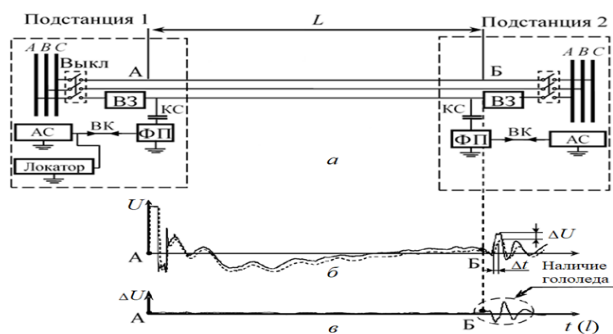


Рис. 1. Обнаружение гололеда на воздушной линии: *а* – условная схема линии; *б* – рефлектограммы линии без гололеда (сплошная линия) и при наличии гололеда (пунктирная линия); *в* – разность рефлектограмм при наличии гололеда и без гололеда

Преимуществом локационного метода является то, что локационный комплекс многоканальный и позволяет поочередно производить мониторинг всех линий, которые отходят от подстанции с заданной периодичностью. Кроме этого локационный комплекс позволяет определять расстояние до места повреждения на ЛЭП по значению времени прихода сигнала, который отражается от места короткого замыкания или обрыва провода. Локационное зондирование показывает интегральное распределение отложения гололеда по всей или части зондируемой линии, а гололед может образовываться неодинаково на различных участках линии. Одним из методов локального контроля состояния воздушных линий электропередач является автоматизированная система контроля гололёдной нагрузки [6]. Работа такой системы заключается в постоянном измерении непосредственно самой гололедной нагрузки на проводе одного пролета воздушной ЛЭП. Кроме датчиков нагрузки, устройства контроля, которые устанавливаются на опорах ЛЭП, включают в себя

датчики температуры провода, температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра. Наличие в составе таких комплексов тензометрических (весовых) датчиков позволяет измерять не только гололедную нагрузку, но и ветровую, датчики направления и скорости ветра дают информацию о его вкладе. В [7] показано, что при наличии ветра критические значения механической нагрузки провода могут достигаться при меньших значениях толщины стенки гололеда. В [8] описан другой метод локального контроля гололедообразования на проводах ЛЭП. Это оптический сенсор, который периодически визуально производит проверку провода, попадающего в поле зрения оптического сенсора на предмет наличия на нем гололеда. Производится постоянный контроль за изменением стенки гололедного отложения и угла провеса провода ЛЭП. При превышении допустимых значений этих параметров для данного провода, информация о гололедной обстановке передается в диспетчерский центр. Такие системы целесообразно устанавливать на пролетах, где большая вероятность образования гололеда из-за особенностей положения ЛЭП на местности.

Комплексное использование локационного зондирования воздушных линий электропередач, позволяющая давать общую информацию о состоянии ЛЭП, и датчиков, установленных на определенных опорах, контролирующих обледенение, могут служить эффективным средством повышения надежности электроэнергетических систем. Такими аппаратными комплексами целесообразно оснащать воздушные ЛЭП в районах, где часто происходит образование гололедно – изморозевых отложений и налипания снежных масс на проводах. Экономическая целесообразность такого оснащения диктуется еще и тем, что такое оборудование может работать в автономном режиме продолжительное время без обслуживания. Затраты по оснащению подстанций этой аппаратурой включают себя только их стоимость, и стоимость работ по их установке и наладке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключкин, Н. Г. Статистический обзор способов ОМП и проблем при расчете и отыскании мест повреждений ВЛ напряжением 110 кВ и выше / Н.Г. Ключкин // Электроэнергия. Передача и распределение. 2025. № 4(91). С. 98-102.
2. Минуллин Р.Г. Анализ допустимых значений толщины стенки гололеда на проводах высоковольтных линий электропередачи / Р.Г.

Минуллин, А.С. Минкин, Э.Ю. Абдуллазянов, В.А. Касимов // В сборнике: Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XL сессии научного семинара по тематике "Диагностика энергооборудования". – Новочеркасск, 2018. – С. 160-163.

3. Ратушняк В.С. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ / В.С. Ратушняк, В.С. Ратушняк, Е.С. Ильин, О.Ю. Вахрушева // Молодая наука Сибири: электрон.науч. журн. 2018. – №1. [Электронный ресурс] URL: <tps://www.elibrary.ru/item.asp?id=38579699>

4. (дата обращения: 13.03.2026).

5. Минуллин Р.Г. Локационный мониторинг гололеда и повреждений на линиях электропередачи // Р.Г. Минуллин. – Казань: КГЭУ, 2022. – 439 с.

6. Минкин А.С. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи локационным зондированием как средство предотвращения аварий и экономических потерь в электрических сетях/ А.С. Минкин // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 4 (177). – С. 1251-1254.

7. Дьяков А.Ф. Информационная система контроля гололедообразования на воздушных линиях электропередачи/ А.Ф. Дьяков, И.И. Левченко, А.С. Засыпкин [и др.] // Энергетик. – 2005. – №11. – С. 20–25.

8. Минкин А.С. Допустимые значения толщины стенки гололеда на проводах высоковольтной линии электропередачи при наличии ветровых нагрузок/А.С. Минкин // В сборнике: Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Казань, 2023. – С. 179-183.

9. Пантелеев В. И., Малеев А. В. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушной линии электропередачи / В.И. Пантелеев, А.В. Малеев // Омский научный вестник. – 2020. – № 6 (174). – С. 74–80.

Миншаехов М.И., Мочалов Н.С., Корнилов Н.Д.

Научный руководитель: Закиров Р.Н., канд. техн. наук, доц.

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Электрохимические установки на основе топливных элементов с твердой полимерной мембраной считаются одной из наиболее перспективных технологий для децентрализованного производства электроэнергии. Такие установки преобразуют химическую энергию водорода непосредственно в электроэнергию, демонстрируя при этом высокий КПД, который на практике достигает 50–60 процентов, а при комбинированном производстве тепла и электроэнергии — почти 90 процентов. Однако на пути к их широкому внедрению стоят три основные проблемы. Первая — ограниченный срок службы из-за деградации мембраны и катализатора. Вторая — высокая стоимость платиновых катализаторов. Третья — чувствительность к чистоте водорода и условиям эксплуатации, в частности к влажности и температуре.

Основным элементом установки является мембранно-электродный блок, состоящий из протонно-обменной мембраны, двух слоев катализатора и газодиффузионных слоев. Во время работы водород на аноде окисляется до протонов и электронов. Протоны проходят через мембрану, а электроны протекают по внешнему электрическому контуру, генерируя таким образом ток. На катоде водород восстанавливается до воды. Вся реакция протекает с выделением тепла и без образования вредных выбросов, при условии использования чистого водорода. Именно этот принцип еще предстоит усовершенствовать, поскольку побочные процессы, такие как перенос водорода или отложение примесей на катализаторе, постепенно снижают производительность.

Одним из самых больших слабых мест в конструкции остается система увлажнения мембраны. Мембрана из перфторсульфоновой кислоты работает только в увлажненном состоянии. Если влажность воздуха опускается ниже 30 процентов, проводимость мембраны сильно снижается, и на ее поверхности возникают сухие зоны, в которых локально возрастает сопротивление. Это приводит к перегреву и механическому разрушению мембраны. В традиционных установках

увлажнение обеспечивается либо с помощью внешних распылительных форсунок, либо путем пропускания реакционных газов через горячую воду. Оба метода являются трудоемкими и малоэффективными при колебаниях нагрузки.

Предлагается совершенствовать систему увлажнения в двух направлениях. Первое заключается в интеграции активной зоны с внутренними капиллярными каналами, которые отводят избыточную воду из области катода и возвращают её для увлажнения газа на аноде. Такая рециркуляция уже реализована в прототипах и позволяет обойтись без внешнего увлажнения при нагрузках до 70 процентов от номинальной мощности. Второй подход заключается в использовании самоувлажняющихся мембран с нанодисперсным диоксидом кремния или диоксидом титана. Гидрофильные частицы удерживают молекулы воды внутри полимерной матрицы и таким образом сохраняют проводимость даже при относительной влажности газа 20 процентов. В ходе испытаний мембрана с добавкой SiO_2 в количестве 5 процентов продемонстрировала на 40 процентов более длительный срок службы по сравнению с базовой мембраной.

Вторая ключевая проблема касается катализатора. Платина по-прежнему остается наиболее эффективным катализатором реакции восстановления водорода, однако ее высокая стоимость и склонность к агломерации ограничивают ее применение. Кроме того, платина отравляется угарным газом уже при концентрации 10 ppm. Это требует использования ультрачистого водорода, что удорожает всю систему. Решением может стать использование биметаллических наночастиц из платины-кобальта или платины-никеля с структурой «ядро-оболочка». Такие катализаторы обладают более высокой активностью, чем чистая платина, и меньшей чувствительностью к примесям.

Также необходимо усовершенствовать технологию производства катализатора. Традиционный метод нанесения платины на углеродный носитель приводит к разбросу размеров частиц от 2 до 10 нанометров. Крупные частицы не участвуют в реакции, в то время как мелкие частицы склонны к растворению и перегруппировке, что ускоряет распад. Более современный подход — это контролируемый электрохимический синтез в инверсных мицеллах, при котором все частицы получают одинаковый размер, например 3 нанометра. Такая однородность увеличивает массовую активность в 1,8 раза. В перспективе возможна полная или частичная замена платины на благородные катализаторы на основе азотсодержащих углеродных нанотрубок с железом или кобальтом. Пока их активность ниже, однако

для стационарных установок с длительным циклом работы это может быть экономически оправданно.

Третий подход к улучшению касается оптимизации газодинамического тракта и биполярных пластин. В серийной установке реагенты поступают к мембрано-электродному блоку через каналы в биполярных пластинах. Неравномерное распределение газов по поверхности электродов приводит к образованию зон с дефицитом водорода или кислорода. В таких зонах потенциал катода смещается в область коррозии углеродного субстрата, что приводит к деградации газодиффузионного слоя. Кроме того, неравномерность вызывает локальный перегрев, который ускоряет старение мембраны.

Результаты современных исследований подтверждают, что использование трехмерного численного моделирования позволяет конструировать каналы с переменным сечением, которые выравнивают поле скоростей потока. Так, например, входная часть канала делается более узкой, а выходная — более широкой, чтобы компенсировать падение давления и продольную неравномерность концентрации. Дополнительный эффект дает введение микроструктур в виде пилонов или турбуляторов непосредственно в каналы. При этом увеличивается тепло- и массообмен между газом и электродом, в то время как гидравлические потери увеличиваются лишь незначительно. Эксперимент на установке мощностью 5 кВт показал, что такая оптимизация повышает равномерность плотности тока на 25 процентов и сдвигает момент начала деградации с 3000 до 4500 часов работы.

Особого внимания заслуживают режимы пуска-останова, которые на стационарных электрохимических установках встречаются реже, чем в автомобильных системах, но все же имеют место. При каждом запуске и остановке возникают переходные потенциалы, которые могут разрушить катализатор и мембрану. Усовершенствование системы управления и автоматизации должно включать алгоритмы плавного запуска с постепенным увеличением токовой нагрузки и предварительной продувкой газовых каналов инертным газом. Это снижает скорость деградации примерно на 30 процентов. Такие алгоритмы не требуют конструктивных изменений и поэтому могут быть внедрены путем обновления программного обеспечения в уже эксплуатируемых установках.

В установках с высокой мощностью от 50 до 500 кВт дополнительную проблему представляет система отвода тепла. КПД в 50 процентов означает, что половина энергии водорода преобразуется в тепло. При работе на номинальной мощности плотность теплового потока сопоставима с таковой у топливных котлов, однако температура

теплоносителя ограничена 70–80 градусами из-за чувствительности мембраны к температуре. Улучшить систему охлаждения можно за счет использования топливных элементов с высокотемпературной мембраной на основе полибензимидазола, работающей при температуре от 150 до 200 градусов. Такие мембраны не требуют увлажнения и легче отводят тепло, однако пока что имеют меньший срок службы. Компромиссным решением является гибридная система, в которой часть тепла отводится через традиционный жидкостный контур, а часть утилизируется с помощью теплового насоса.

Практическая реализация предложенных усовершенствований уже началась на установках российского производства. Так, например, в прототипах мощностью 2 и 10 кВт компании «INEUM» используются биполярные пластины с оптимизированной топологией каналов и мембрана MF 4SK с добавками диоксида кремния, заменяющая импортные аналоги. Согласно приведенным данным, срок службы установки удалось увеличить с 5 000 до 12 000 часов, а удельные затраты на выработанный киловатт-час снизились на 18 процентов по сравнению с первой версией. Это подтверждает правильность выбранного направления.

Однако пока еще рано говорить о достижении предельных значений. Для стационарных электрохимических установок в качестве целевого показателя приняты срок службы 40 000 часов и цена катализатора не более 5 долларов за киловатт. В настоящее время эти показатели составляют от 15 000 до 20 000 часов и от 15 до 20 долларов за киловатт соответственно. Для достижения этой цели необходимы дальнейшие исследования в области катализаторов без платины, экономичных методов получения водорода непосредственно на месте, а также повышения термостойкости мембран. При этом установки на основе топливных элементов с твердополимерной мембраной уже сегодня могут конкурировать с дизельными генераторами при наличии доступа к водороду или водородсодержащим газам, например, на очистных сооружениях или на полигонах твердых бытовых отходов.

Поэтому дальнейшее развитие электрохимических установок на основе топливных элементов с твердополимерной мембраной необходимо продвигать одновременно в нескольких направлениях. К ним относятся модернизация системы увлажнения мембран, переход на биметаллические и неблагородные катализаторы, оптимизация газодинамического тракта биполярных пластин, а также внедрение интеллектуальных алгоритмов управления для фаз запуска и настройки. Каждое из этих решений уже доказало свою эффективность в лабораторных испытаниях или на прототипах. Их широкое применение

в ближайшие 5–7 лет позволит разработать установки, способные заменить традиционные источники автономного электроснабжения без потери надежности и с лучшими экологическими показателями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасов, Б. П. Протонно-обменные мембраны и мембрано-электродные блоки для топливных элементов / Б. П. Тарасов, В. А. Миллер // Достижения химии. – 2023. – Т. 92, № 5. – С. 45–59.
2. Васильев И. С., Зайнуллина А. Р. Износ катализатора в топливных элементах с твердополимерной мембраной при циклической нагрузке // Электрохимическая энергетика. — 2024. — Т. 18, № 2. — С. 112–121.
3. Камалов, Т. Ф. Моделирование газодинамических процессов в биполярных пластинах топливных элементов / Т. Ф. Камалов, А. Р. Фатхуллин // Вестник КГЭУ. – 2025. – № 1(53). – С. 34–42..
4. Патент № 2812345 Российской Федерации. Способ получения наноструктурированного платиносодержащего катализатора для топливного элемента / Ф. Р. Царафутдинов, Р. А. Харисов. – 2024. – Лист № 18.
5. Гусев, О. Ю. Автономные электрохимические генераторы водорода. Конструкция, моделирование, эксплуатация / О. Ю. Гусев, Е. В. Смирнова. — Москва: Энергоатомиздат, 2023. — 280 с. — С. 145–176.
6. Научно-исследовательский отчет «Разработка и испытание топливных элементов с улучшенными массовыми характеристиками» / ФГБУО УО «КНИТУ». – Казань, 2024. – 112 с.

УДК 624.152.63

Моляренко Е.В.

*Научный руководитель: Никулин А.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВОК

Рост урбанизации и увеличение числа автомобилей в мегаполисах вызывают нехватку парковочных мест. Эффективное решение —

строительство подземных парковок, но их возведение осложняется необходимостью надёжного ограждения котлованов.

Выбор метода ограждения котлована — ключевой этап проектирования: от него зависят безопасность строительства, стоимость проекта и влияние на окружающую застройку [1].



Рис. 1. Котлован для подземной парковки

Шпунтовые ограждения представляют собой сплошные стенки, создаваемые путём погружения шпунтовых свай в грунт. Их основная задача — удержание грунта, предотвращение обрушения стенок котлована, а также выполнение функции противофильтрационной завесы. Существует несколько видов шпунта. Стальной (корытообразный, плоский, Z образный) отличается высокой прочностью и возможностью многократного использования. ПВХ шпунт лёгкий и коррозионностойкий, но менее прочный, подходит для неглубоких котлованов.

Монтаж шпунтовых ограждений включает разметку контура котлована, погружение направляющих свай, погружение шпунтин с контролем вертикальности, соединение шпунтин замками и (при необходимости) установку распорной системы [4]. Для погружения используют следующие методы: вибропогружение, забивку молотами, вдавливание (в стеснённых условиях) и комбинированные методы. Необходимое оборудование: вибропогружатели, копры, гидравлические домкраты, сваебойные установки. Ключевые элементы конструкции — типы замков, профили шпунта и дополнительные элементы (распорки, анкеры, обвязочные пояса).



Рис. 2. Шпунтовое ограждение в процессе монтажа

К преимуществам шпунтовых ограждений относятся высокая скорость монтажа, возможность повторного использования (для стального шпунта), относительно низкая стоимость и простота демонтажа. Среди недостатков можно выделить ограниченную глубину применения (обычно до 12–15 м), шум и вибрации при погружении, сложность погружения в плотные грунты, ограниченную водонепроницаемость (кроме шпунта Ларсена). Шпунтовые ограждения чаще всего применяют при строительстве неглубоких подземных парковок (1–2 уровня), в песчаных и глинистых грунтах, вдали от существующей застройки и для временных сооружений

Технология «стена в грунте» предполагает строительство подземных сооружений путём разработки траншей под защитой раствора из бентонитовой глины с последующим бетонированием и созданием монолитной стены [3]. Различают две разновидности технологии. Траншейный метод подразумевает разработку узких траншей шириной 0,4–1,2 м с установкой арматурных каркасов и бетонированием. Свайный метод заключается в устройстве секущихся или касательных буронабивных свай.



Рис. 3. Процесс устройства, стены в грунте

Этапы строительства по технологии «стена в грунте» следующие: сначала разрабатывают траншею под защитой раствора из бентонитовой глины, затем устанавливают арматурные каркасы, выполняют бетонирование методом ВПТ (вертикально перемещаемой трубы), формируют монолитную стену, разрабатывают грунт внутри контура стены и в завершение устраивают распорную систему или перекрытия. Для реализации технологии требуются бентонитовый раствор, бетон класса В25–В30, арматурные каркасы, грейферные или фрезерные установки, бетононасосы и трубы ВПТ, а также

оборудование для приготовления и регенерации раствора из бентонитовой глины. Конструктивные решения включают несущие стены, противофильтрационные завесы, комбинированные решения и стены с переменной толщиной для оптимизации затрат.

Преимущества технологии «стена в грунте» состоят в возможности строительства глубоких котлованов (до 50 м и более), высокой несущей способности, отличной водонепроницаемости, минимальном влиянии на окружающую застройку и возможности создания стен сложной конфигурации. В то же время у технологии есть и недостатки: высокая стоимость, трудоёмкость и длительность работ, необходимость специализированного оборудования, сложность контроля качества бетонирования.

Сравнительный анализ методов показывает следующие различия. По техническим параметрам максимальная глубина котлована составляет до 15 м у шпунтовых ограждений и до 50 м и более у «стен в грунте»; несущая способность средняя у шпунта и высокая у «стен в грунте»; водонепроницаемость зависит от типа шпунта у ограждений и высокая у «стен в грунте»; устойчивость к динамическим нагрузкам средняя у шпунта и высокая у «стен в грунте». По экономическим показателям стоимость материалов низкая–средняя у шпунтовых ограждений и высокая у «стен в грунте»; затраты на оборудование средние у шпунта и высокие у «стен в грунте»; трудоёмкость средняя у шпунта и высокая у «стен в грунте»; сроки выполнения работ короткие у шпунтовых ограждений и длительные у «стен в грунте».

По условиям применения тип грунта для шпунта — пески и глины, для «стен в грунте» — любые грунты (включая слабые); уровень грунтовых вод для шпунта—низкий–средний, для «стен в грунте» — любой; близость застройки ограничена для шпунта из-за вибраций и допускается для «стен в грунте»; стеснённость площадки средняя для шпунта и высокая для «стен в грунте». С точки зрения экологических аспектов шпунтовые ограждения создают шум и вибрации, влияющие на окружающую среду, тогда как «стена в грунте» оказывает минимальное воздействие, но требует утилизации бентонитового раствора.

Долговечность и эксплуатационные характеристики также различаются: шпунтовые ограждения служат 25–50 лет (стальные) и требуют антикоррозийной защиты, а «стена в грунте» служит 50–100 лет и обладает высокой коррозионной стойкостью [2].

Выбор метода зависит от ряда факторов. При глубине котлована до 15 м предпочтительнее шпунт, свыше 15 м — «стена в грунте». В плотных песках и глинах применимы оба метода, в слабых

водонасыщенных грунтах предпочтительнее «стена в грунте». При ограниченном бюджете выбирают шпунтовые ограждения, а если сроки сжатые — тоже отдадут предпочтение шпунту. Для полной гидроизоляции лучше подходит «стена в грунте», а в плотной городской застройке она предпочтительнее ещё и потому, что минимизирует вибрации.

Сравнительный анализ показал, что шпунтовые ограждения и технология «стена в грунте» имеют свои преимущества и ограничения.

Шпунтовые ограждения оптимальны для неглубоких котлованов в благоприятных грунтовых условиях при сжатых сроках и ограниченном бюджете. Они просты в монтаже и могут использоваться многократно, но уступают в водонепроницаемости и глубине применения.

«Стена в грунте» подходит для сложных условий — глубоких котлованов, слабых водонасыщенных грунтов и плотной городской застройки. Технология обеспечивает высокую несущую способность и водонепроницаемость, но требует значительных затрат времени и ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудской, И. С. Технология обеспечения надежности и устойчивости ограждения котлована / И. С. Рудской, С. М. Есипов // Инновационная наука. – 2022. – № 12-2. – С. 19-22.

2. Есипов, С. М. Определение глубины коррозии бетона при совокупности силовых и средовых воздействий / С. М. Есипов, Д. В. Есипова, В. О. Демин // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов III Международной научно-практической конференции к 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 18 апреля 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 263-266.

3. Кочерженко, В. В. Увеличение устойчивости стенок траншей, заполненных глинистым раствором, при возведении зданий и сооружений вблизи существующих зданий / В. В. Кочерженко, Л. А. Сулейманова // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения : материалы Международных академических чтений, Курск, 15 ноября 2019 года. – Курск: Курский государственный университет, 2019. – С. 69-75.

4. Чиж, И. Н. Разработка методики расчета оптимальной глубины заложения разделительного шпунтового ряда в стесненных условиях строительства / И. Н. Чиж, Г. М. Скибин // Вестник Пермского

национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 60-72.

УДК 004.43

Наумен Р.А.

Научный руководитель: Бондаренко Т. В., ст. преп.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON В СОЗДАНИИ ПРОСТЫХ ИГР

В наше время программирование становится всё более востребованной сферой деятельности, привлекающей людей разных возрастов и профессиональных интересов. Программирование также предоставляет широкие возможности для творчества и решения сложных задач. Создание собственных проектов, участие в технологических разработках и возможность вносить вклад в развитие цифровой среды делают эту сферу особенно привлекательной. По этим причинам я решил расширить свои навыки и создать собственную игру на Python. Среди различных жанров наиболее подходящим для реализации оказался жанр скроллеров. В таких играх пространство плавно движется в одном направлении, а задача игрока — уклоняться от препятствий, уничтожать противников и собирать бонусы. Скроллеры делятся на два основных вида: вертикальные (движение сверху вниз или снизу вверх) и горизонтальные (движение слева направо). Пик их популярности пришёлся на конец 1980-х — начало 1990-х годов, однако и сегодня этот жанр сохраняет востребованность, особенно в мобильных играх. Дополнительным преимуществом является относительная простота реализации таких проектов с помощью библиотеки Pygame. Для моей игры больше всего подходил вертикальный скроллер с видом сверху. Большинство классических проектов этого типа посвящены сражениям космических кораблей, что и определило основную идею моей игры. Работу над проектом я начал совместно с моим другом Кириллом Созыкиным.

На первом этапе разработки требовалось создать базовый макет, который станет основой дальнейшего развития. Концепция игры заключалась в том, что космический корабль бесконечно движется вперёд, отражая атаки метеоритов. На этой стадии я реализовал простейшую версию игрового процесса: корабль и метеориты были представлены прямоугольниками. Корабль мог перемещаться по оси X,

а метеориты — падать сверху вниз с разной скоростью. Столкновения ещё не обрабатывались, поэтому объекты проходили друг сквозь друга.

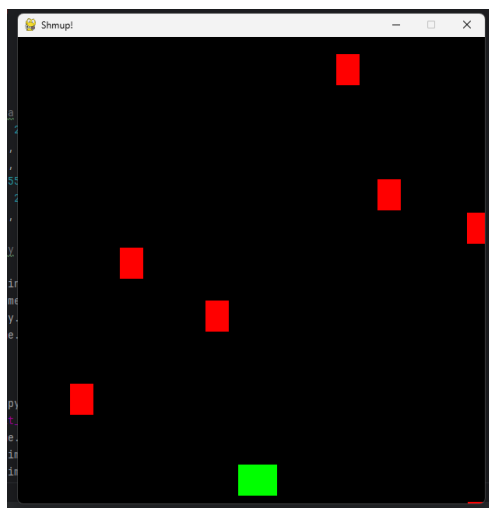


Рис. 1 Первый макет игры

Следующим шагом стала реализация системы коллизий — возможности столкновения метеоритов с кораблём и снарядами. Корабль получил возможность стрелять: при нажатии пробела он выпускал снаряды, которые уничтожали метеориты. После попадания метеорит исчезал и появлялся снова сверху экрана. Поражение космического корабля приводило к окончанию игры. На этом этапе появились первые текстуры, а благодаря возможностям Pygame визуальная часть проекта стала более выразительной. Был добавлен счётчик уничтоженных метеоритов. Чтобы реализовать меню окончания игры и сохранять результаты, данные счётчика записывались в отдельный файл `resources.txt`. Теперь объекты имели полноценные изображения, а при попадании по метеориту на несколько кадров отображалась анимация взрыва. Фон космоса создавал эффект движения и динамики.

На последующих этапах дорабатывались все ключевые элементы игры. Был добавлен счётчик жизней корабля, улучшены текстуры и визуальные эффекты. В игру появились усиления: повышение скорости стрельбы, восстановление жизней и временный защитный щит. После столкновения с метеоритом игрок автоматически получал кратковременную защиту, что делало процесс более

сбалансированным. Были добавлены звуковые эффекты и фоновая музыка: звуки выстрелов, взрывов и подбора бонусов.

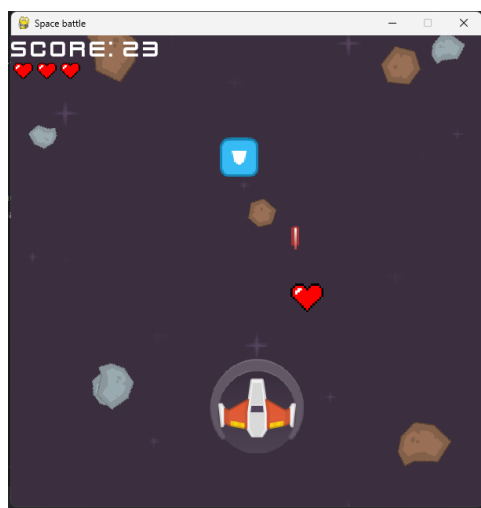


Рис. 3 Игра в законченном виде

После завершения основных механик был создан полноценный интерфейс. Появилось стартовое меню, меню паузы (вызываемое клавишей **ESC**) и финальное меню окончания игры. Все кнопки и элементы интерфейса были связаны между собой и корректно управляли игровым процессом.

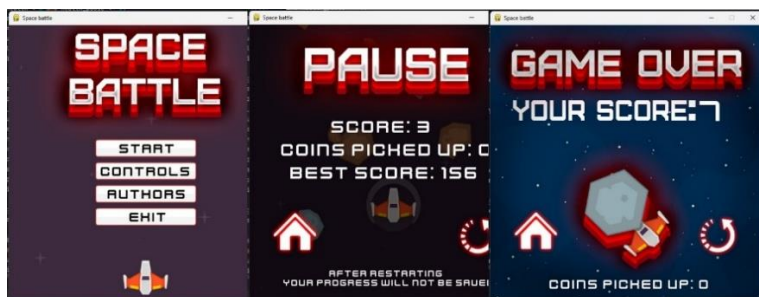


Рис. 4 Различные меню

Основой кода игры является объектно-ориентированное программирование. Почти каждый элемент реализован как отдельный класс. Базовым родительским классом для всех «физических» объектов

выступает **GameObject**, который наследуется от встроенного класса библиотеки Pygame — **pygame.sprite.Sprite**.

```
67 # родительский класс
68 class GameObject(pygame.sprite.Sprite): 2 usages
69     colorkey = None
70
71     def __init__(self, image_path, pos_x, pos_y, size_x=None, size_y=None):
72         pygame.sprite.Sprite.__init__(self)
73         self.set_image(image_path, size_x, size_y)
74         self.set_position(pos_x, pos_y)
75
76     def set_position(self, pos_x, pos_y): 1 usage
77         self.rect.x = pos_x
78         self.rect.y = pos_y
79
80     def set_image(self, image_path, size_x=None, size_y=None): 1 usage
81         self.image = load_image(image_path, self.colorkey)
82         if size_x is not None and size_y is not None:
83             self.image = pygame.transform.scale(self.image, size=(size_x, size_y))
84         self.rect = self.image.get_rect()
```

Рис. 5 Родительский класс из кода игры

Каждая сущность имеет собственный метод **update**, отвечающий за изменение состояния. Например, в классе **Mob** (метеорит) **update** управляет его перемещением, вращением, скоростью и обработкой уничтожения. Для удобства большинство объектов объединены в группы с помощью **pygame.sprite.Group**, что упрощает массовую обработку спрайтов. Столкновения реализованы через **pygame.sprite.spritecollide**, которая проверяет пересечения спрайтов и передаёт данные в обработчики. Все шрифты, картинки и звуки вынесены в отдельный модуль с классом **Media**, что повышает читаемость и структуру проекта.

Меню игры также вынесены в отдельные функции, которые взаимодействуют с глобальными переменными и используют модуль **pygame.event** для обработки действий пользователя. Этот класс сообщается с основным файлом благодаря встроенному функционалу Python и импортируется как обычная библиотека. Меню игры также вынесены в отдельные функции, которые взаимодействуют с глобальными переменными и используют модуль **pygame.event** для обработки действий пользователя.

Важно отметить, что в процессе разработки не использовались нейросети — вся логика и архитектура реализованы вручную. Этот проект стал для меня значимым опытом и существенно улучшил мои навыки программирования на Python. Код игры, документацию и материалы по запуску можно найти на **GitHub**[5]. Таким образом, Python и библиотека Pygame дают возможность создавать полноценные

игровые проекты даже без глубоких знаний языка, если подойти к делу последовательно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лембли Р. The Side-Scrolling Shooter 1980–2004? / Лембли Р. [Электронный ресурс] // Den Of Geek : [сайт]. — URL: <https://www.denofgeek.com> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Pygame.sprite.groupcollide: документация [Электронный ресурс] // Runebook. — Режим доступа: <https://runebook.dev> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Collision Detection in Pygame [Электронный ресурс] // MakeUseOf. — Режим доступа: <https://www.makeuseof.com> (дата обращения: 23.11.2025).
4. Pygame Documentation [Электронный ресурс] // Pygame.org. — Режим доступа: <https://www.pygame.org> (дата обращения: 13.09.2024).
5. Наумец Р. А., Созыкин К. А. Проект Pygame Project / Наумец Р. А., Созыкин К. А. [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. — URL: <https://github.com> (дата обращения: 25.11.2025).
6. Бондаренко Т. В., Разработка компьютерных игр с помощью игровых движков. [Текст] / Т. В. Бондаренко, В. Д. Колесников. XII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство» — Из-во: БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2020. — с. 1888-1894

УДК 614.876:616-073

Немчинова Н. Р., Нижегородцева П.Ю., Семенихина М.А.
Научный руководитель: Матюхин П. В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ В МЕДИЦИНЕ

С развитием медицины, для лечения различных заболеваний довольно широко применяются различные радиационные установки. Они используются при лучевых терапиях, в ядерной медицине, радиационной стерилизации. Весьма важным является соблюдение мер безопасности для работников и пациентов по направлению обеспечения радиационной защиты. Для этого используются как средства индивидуальной радиационной защиты, так и различные

радиационно-защитные композиционные материалы и конструкции, состоящие из основы и наполнителя, которые придают такому материалу определенные радиационно-защитные свойства [1-15].

Одним из перспективных направлений является ядерная медицина, которая включает в себя радионуклидную диагностику и радионуклидную терапию с использованием радиоактивных изотопов. Диагностика инфекционно-воспалительных заболеваний до сих пор является наиболее актуальной проблемой медицины и человечеству нужны новые подходы. Существующие лучевые методы, включая компьютерную томографию и ультрасонографию, зачастую не выявляют воспаление на ранних стадиях, но помогают определить аномально протекающие процессы, когда эти изменения еще не могут быть выявлены с помощью классических методов лучевой диагностики (компьютерная томография, рентген и др.).

В 1971 году первым радиофармпрепаратом, который начали применять для поиска и визуализации очагов воспаления и новообразований, стал ^{67}Ga -цитрат с периодом полураспада 78 ч. Через 48 ч после внутривенного введения ^{67}Ga -цитрата можно проводить сцинтиграфию. Данный радиофармпрепарат применялся в России для диагностики системных злокачественных лимфопролиферативных заболеваний, первичных и метастатических опухолей. В настоящее время он применяется во многих странах для диагностики лихорадки неясного генеза [16].

Одним из перспективных методов в медицине является радионуклидный метод индикации с помощью гамма-сцинтиграфии - это метод радионуклидной диагностики, основанный на введении в организм пациента радиофармпрепарата с радиоактивными изотопами и регистрации излучения от его распада с помощью гамма-камеры., с помощью которого удаётся оценить характер изменений в повреждённых органах и тканях. В качестве радиофармпрепарата вводят на основе метастабильного технеция- $^{99\text{m}}$ производной глюкозы в форме раствора для внутривенных инъекций. Способ получения реагента на основе меченной технецием- $^{99\text{m}}$ 1-тио-D-глюкозы включает приготовление реакционной смеси, состоящей из производной глюкозы, олова (II) хлорида дигидрата, аскорбиновой кислоты в водном растворе. Его вводят в организм и через 40-120 минут выполняют однофотонную эмиссионную компьютерную томографию на гамма-камере. Далее по результатам определяется аномальное образование [17-19].

Радионуклидная терапия с использованием препаратов на основе ^{188}Re давно привлекает исследователей и практиков всего мира.

Исключительная перспективность этого радионуклида связана с его особыми ядерно-физическими свойствами. Короткий период полураспада 17 ч делает его безопасным для пациентов, персонала и окружающей среды. Высокая максимальная энергия спектра β -излучения позволяет достичь значительных поглощенных доз в патологических очагах. Большой пробег β -частиц обеспечивает среднюю глубину их проникновения, благодаря чему они могут достигать опухолевых клеток, расположенных в нескольких миллиметрах от зоны фиксации радионуклида. Наличие гамма-излучения с энергией 155 кэВ позволяет получать изображение распределения ^{188}Re с помощью гамма-камеры. Препараты на основе ^{188}Re используются в радионуклидной терапии при метастазах и метастатическом поражении, при опухолях [20].

Одним из новых и перспективных препаратов для радионуклидной терапии является лютеций-177-ПСМА-617. Лиганд ПСМА-617 (простатический специфический мембранный антиген) позволяет доставлять радионуклид ^{177}Lu к клеткам экспрессирующим ПСМА, при этом минимизируя повреждение окружающих здоровых тканей и оказывая цитотоксическое воздействие на опухолевые клетки. ^{177}Lu — это радионуклид реакторного типа, который является бета-излучателем средних энергий наряду с низкоэнергетичным гамма-излучением. ^{177}Lu имеет период полураспада 6,73 дня. ПСМА представляет собой трансмембранный гликопротеин II класса, состоящий из 750 аминокислот с внутриклеточным и внеклеточным доменами. Он играет важную роль в миграции, выживании и пролиферации клеток [21].

Радиоизотопов, которые используются в медицинской диагностике насчитывается в разнообразии. Несмотря на опасения, которые может вызвать радиоизотоп, остатки препаратов с его содержанием со временем выводятся из организма. Но при использовании радиоизотопов, исследования при диагностиках на их основах выдают достоверный результат, что помогает точно определять аномальные образования и подчеркивает перспективность их дальнейшего применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Композиционный материал для защиты от гамма-излучения / Р. Н. Ястребинский, В. И. Павленко, П. В. Матюхин, Н. А. Четвериков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 17-20.

2. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

3. Червоный, М. А. Роль защиты от ионизирующих излучений в сохранении здоровья человека / М. А. Червоный, А. И. Стрельникова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 2346-2350.

4. Непочатых, К. С. Обеспечение радиационной безопасности при проведении медицинских рентгенологических исследований / К. С. Непочатых // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 2726-2730.

5. Пилаvidу, Е. О. Современные альтернативные свинцу материалы для защиты от рентгеновских лучей в области медицины / Е. О. Пилаvidу, А. П. Прокопченко, В. В. Солгалов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 261-265.

6. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

7. Солгалов, В. В. Радиационно-защитные материалы на основе стекла / В. В. Солгалов // Наука и технологии: модернизация, инновации, прогресс : сборник научных трудов по материалам XX Международной научно-практической конференции, Анапа, 27 декабря 2023 года. – Анапа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2023. – С. 55-59.

8. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.

9. Истратий, И. И. Способы защиты от ионизирующих излучений в медицинских учреждениях / И. И. Истратий, К. О. Крузин, И. С. Петров // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 60-65.

10. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Ю. М. Бондаренко, П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребиский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 120.

11. Курулева, У. Е. Современные радиофармпрепараты, используемые в радиолучевой терапии / У. Е. Курулева, К. О. Крузин, Д. А. Митина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 20–21 мая 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 88-92.

12. Истратий, И. И. Современные методы лучевой терапии онкологических заболеваний / И. И. Истратий, К. О. Крузин, И. С. Петров // 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. 71-75.

13. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-6. – С. 983-986.

14. Ташкинов, Н. С. Радиационно-защитные материалы, используемые в рентгенологии / Н. С. Ташкинов // 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. 212-216.

15. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 39-40.

16. Возможности методов ядерной медицины в диагностике воспаления / А.В. Светлякова, А.С. Крылов, А.Д. Рыжков и др. // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2022. – №5(2). – С.18-34.

17. Трехфазная сцинтиграфия как дополнение к традиционной однофотонной диагностике пациентов с нейроэндокринными опухолями / С.М. Каспшик, А.Д. Рыжков, А.С. Крылов и др. // Медицинский алфавит. – 2025. – №26. – С. 29-33.

18. Патент № 194391 Российская Федерация, МПК А61В 6/00 (2006.01), G01Т 1/00 (2006.01). Прибор радионуклидной диагностики : № 2019129164 : заявл. 17.09.2019 : опубл. 09.12.2019 / Полупанов Н. С., Мамай В. И. ; заявитель и патентообладатель ООО «Гамма-Детектор».

19. Патент № 2644744 Российская Федерация, МПК А61К 51/04 (2006.01), А61К 103/10 (2006.01). Состав и способ получения реагента для радионуклидной диагностики на основе меченной технецием-99m 1-тио-D-глюкозы : № 2016143016 : заявл. 01.11.2016 : опубл. 27.04.2020 / Чернов В. И., Зельчан Р. В., Медведева А. А. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Томский НИМЦН.

20. Радионуклидная терапия препаратами ^{188}Re в онкологии / К. Лиспе, Г. Лимурис, В.В. Крылов, Т.Ю. Кочетова // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2018. – №1(4). – С. 34-42.

21. Оценка нефротоксичности с помощью реносцинтиграфии при проведении радионуклидной терапии с ^{177}Lu -ПСМА-617 / А.В. Павлова, А.С. Крылов, А.Д. Рыжков и др. // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2023. – №6(4). – С. 26-33.

УДК 67.02;621.926.5

Несмеянов Н.П., Исса Ю.В., Смирнов Д.В., Атласюк В.А.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПОМОЛЕ ЦЕМЕНТА В БАРАБАННЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

Работа цементных заводов в рыночных условиях показала, что для их дальнейшего успешного функционирования необходимо решение принципиально новых научно-технических задач, которые

традиционным путем решены быть не могут. Эти новые задачи обозначены, в частности, в работах проф. М.А. Вердяна и проф. В.С. Богданова. Суть состоит в том, что научно обоснованные методы интенсификации помольного оборудования должны базироваться в настоящее время на современном системном подходе при реализации новых технологических решений. Использование системного и эксергетического анализа в технологии цемента изменяет традиционные методы оценки энергетической эффективности и способы организации типовых технологических процессов, оборудования и схем цементного производства. Наиболее полно это проявляется на технологическом переделе измельчения цемента.

Условие задачи о выборе оптимальной организации процесса измельчения гидродинамике материального потока и кинетике измельчения, а также мельницы, реализующей этот процесс, может быть в общем виде представлено зависимостью

$$\mathcal{E}_{min} = \mathcal{E}_{ид} + \mathcal{E}_{\Delta}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{min}$ - минимальные энергозатраты реальной мельницы;

$\mathcal{E}_{ид}$ - энергозатраты «идеальной мельницы», реализующей оптимальную организацию процесса измельчения;

$\mathcal{E}_{\Delta}$ - дополнительные энергозатраты, определяемые отклонением фактического процесса от идеального.

В общем случае энергозатраты при измельчении определенного материала с заданными входными и выходными параметрами продукта в мельнице определенной конструкции и размеров в неявном виде выражаются суммой

$$\mathcal{E}_{min} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_1=f(L/D)$ - энергозатраты, определяемые конструкцией и размерами мельницы, в частности отношением ее длины L к диаметру D в свету. Эта величина для мельницы заданной конструкции и размеров постоянна;

$\mathcal{E}_2=f(L/d)$ - энергозатраты, обусловленные гидродинамикой материального потока, т.е. отношением длины мельницы к приведенному диаметру сечения потока, определенному по величине межшарового объема - зоны измельчения. Это переменная величина, позволяющая регулировать скорость материального потока в мельнице и время пребывания материала в ней, а также кинетику измельчения;

$\mathcal{E}_3=f(Re)$ - энергозатраты, определяемые степенью оптимизации материального потока, характеризуемой критерием Пекле (Re), - показателем продольного и поперечного перемешивания, застойных зон, обратных, поперечных и байпасных потоков. Это также переменная

величина, максимальное значение которой устанавливается при оптимизации процесса измельчения;

$\mathcal{E}_4=f(\delta_1, W_i)$ - энергозатраты, определяемые исходной дисперсностью измельчаемого материала δ_1 и его размолоспособностью W_i . Постоянная величина - входной параметр материала;

$\mathcal{E}_5=f(\delta_2, S)$ - энергозатраты, определяемые конечной дисперсностью измельчаемого материала (δ_2, S) и его зерновым составом. Постоянная величина для конкретных условий;

$\mathcal{E}_6=f(\Delta)$ — дополнительные энергозатраты, связанные с реализацией помольного агрегата, привода мельницы и вспомогательных механизмов. Постоянная величина.

Суммарные энергозатраты составят

$$\mathcal{E}_{min} = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + K, \quad (3)$$

где $K = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6$.

Решение поставленной задачи должно основываться на анализе зарубежных и отечественных барабанных шаровых мельниц открытого и замкнутого циклов, непрерывного и импульсного, одно- и двухстадийного измельчения, что позволит в итоге снизить удельные энергозатраты в среднем на 10-15%. Остановимся на преимуществах импульсной технологии измельчения.

Процессы измельчения, в частности, цемента характеризуются непрерывностью, причем подразумевается ее оптимальность. Между тем показано, что определяющим параметром процесса является время пребывания материала в мельнице - τ , аналог степени завершения процесса в химическом реакторе. Процесс характеризуется также конкретной скоростью измельчения - k_τ обобщенно - их произведением $k_\tau \cdot \tau$

Между тем оптимальная реализация процесса происходит при периодическом измельчении, поскольку при непрерывном измельчении максимальные значения k и τ не совпадают. Совпадение имеет место при периодическом измельчении, когда произведение $k_\tau \cdot \tau$ оказывается максимальным. Следовательно, переодический режим предпочтителен, что подтверждено экспериментально в лабораторных и промышленных условиях.

На примере масштабирования промышленных барабанных шаровых мельниц показано, что условием эффективности процесса периодического измельчения является различие $k_{\tau \text{ лаб}} < k_{\tau \text{ пром}}$. Задача масштабирования сводится к установлению условий переноса данных,

полученных на лабораторной барабанной шаровой мельнице размером 0,5х0,28 м, на промышленные мельницы.

Экспериментальные исследования показали, что приведенное выше неравенство сохраняет силу для всего класса цементных промышленных барабанных шаровых мельниц. Полученные на лабораторной мельнице при периодическом измельчении энергозатраты и зерновой состав цемента во всех случаях ниже и благоприятнее, чем при непрерывном измельчении на промышленных барабанных шаровых мельницах, при прочих равных условиях.

Эффективность измельчения определяется организацией процесса измельчения и возможностью управления временем пребывания материала в мельнице.

При периодическом измельчении это управление осуществляется изменением подачи материала в мельницу и его выгрузки из мельницы. При этом необходимо совмещение традиционной непрерывной работы мельницы с периодической подачей материала и выгрузкой продукта. Такой режим, названный дискретно-непрерывной или импульсной организацией процесса, является промежуточным между непрерывным и периодическим режимами. При импульсном режиме питания и выгрузки непрерывно работающая мельница в интервалах между двумя загрузками измельчения, работает в режиме периодического измельчения, с максимальной эффективностью, чередуя циклы периодического и непрерывного измельчения. При этом возрастают дисперсность продукта и производительность, снижаются удельные энергозатраты.

Отличительными особенностями дисперсно-непрерывного способа измельчения являются возможности:

- получения продуктов широкого диапазона дисперсностей с показателями лучшими, чем показатели процесса непрерывного измельчения на барабанных шаровых мельницах замкнутого цикла;

- получения продукта в условиях, близких к режиму идеального вытеснения;

- оборудования помольных агрегатов простыми и дешевыми питателями взамен дорогостоящих весовых дозаторов;

- обеспечения оптимального и разнообразного для каждого компонента цементной шихты времени пребывания в мельнице при их одновременном помоле;

- достижения максимальной степени перемешивания

- реализации наклонных межкамерных перегородок при повышенной дисперсности цемента;

- использования действующих барабанных шаровых мельниц;
- изменения состава измельчаемой шихты и сортности цемента;
- изменения частоты и периодичности подачи материала в мельницу, а также ее разгрузки.

Для приближения модели мельницы к оптимальной модели идеального измельчения следует прибегать секционированию, организовывать периодическое, импульсное питание мельницы исходным материалом с регулированием формы, периода и амплитуды импульсов загрузки и разгрузки мельницы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.А.Вердиян. Новые принципы анализа и расчета процессов измельчения твердых тел в технологии цемента. Автореферат диссертации докт. тех. наук. М, МХТИ, 1983, 50 с.

2. Вердиян М.А., Кафаров В.В. Процессы измельчения твердых тел процессы и аппараты химической технологии, том 5 // М.- 1977.- С.С.5-89.

3. Вердиян М.А., Третьяков В.Н., Богданов В.С., Федин Ю.М., Тынников Ю.М. Эффективность дискретно-непрерывных процессов измельчения твердых тел // Цемент. - 1995.- №4.- с.с.19-21

4. Вердиян М.А., Несмеянов Н.П., Ведрицкий В.В. Новый критерий оценки эффективности работы различных мельниц. Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века, часть 1 методические основы. №7, 2004. С. 50-51

5. 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.

*Нижегородцева П.Ю. Немчинова Н.Р., Хозяинов С.А.
Научный руководитель: Матюхин П.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МКС

Исследование космического пространства является интересной и важной задачей одновременно, которые имеют огромный потенциал для научных исследований, развития технологий и будущего человечества в целом. На планете Земля люди подвергаются воздействию относительно низких уровней космического излучения благодаря защитному действию атмосферы и геомагнитосферы по сравнению с воздействием ионизирующего излучения в космическом пространстве [1].

В связи с тем, что ионизирующее излучение различной природы тесно связано с жизнью человека, учеными многих стран создавались и продолжают разрабатываться различные радиационно-защитные материалы и конструкции, в составе которых находятся основы и наполнители, способные осуществлять биологическую защиту в необходимых отраслях жизнедеятельности. В том числе, очень актуальной задачей является обеспечение радиационной защиты космонавтов, находящихся в длительно в открытом космосе, к примеру, на летательных аппаратах, таких как космическая станция [2-17].

Одна из проблем длительного нахождения космонавтов в космосе – это космическое излучение, которое, в основном, включает в себя протонное и электронное излучение. Кроме того, внутри космического аппарата на космонавтов дополнительно может воздействовать нейтронное и вторичное рентгеновское излучение, которые образуются в результате прохождения космического излучения через металлические стенки космического аппарата. Все это значительно сокращает время пребывания космонавтов на орбите и не позволяет проводить длительные космические миссии [18].

В космосе, в отличие от Земли, намного сложнее подобрать эффективную радиационную защиту, так как требуется учесть все виды ионизирующих излучений, которые действуют одновременно, учитывая, что габариты и толщина такой радиационной защиты сильно ограничены в размерах. Поэтому защита космического оборудования и космонавтов порой может оказаться довольно сложной технической

задачей. На сегодняшний день учеными разработаны различные радиационно-защитные материалы в данной области, некоторые из которых рассмотрим ниже.

В статье [19] рассказывается о разработке композитов на основе порошков гексаборида лантана (LaB_6) и алюминийево-магниевого сплава (Al-Mg), смешанных в различных соотношениях. Эти смеси подвергли плазменному спеканию при температуре 400°C и давлении 21,5 МПа и выдержали пять минут в вакууме. В результате получили плотные двухфазные материалы, состоящие из LaB_6 и интерметаллида Mg_2Al_3 , которые сочетают структурную прочность металлической матрицы с эффективным поглощением тепловых нейтронов за счет высокого содержания бора в LaB_6 . Наибольшая эффективность поглощения тепловых нейтронов была зафиксирована для композита с 50 % LaB_6 , для которого толщина слоя половинного ослабления составила 0,202 см. Эти результаты демонстрируют потенциал разработанных композитов для применения в качестве многофункциональных материалов, сочетающих структурную прочность с эффективной защитой от тепловых нейтронов в области космической техники.

В Белгородском государственном технологическом университете имени Шухова исследователи разработали полимерный композит нового поколения. Радиационно-защитные наполнители покрыты специальной гидрофобной пленкой, что позволяет в несколько раз увеличить количество защитных частиц в полимере без ущерба для механических свойств материала. В результате, при толщине всего в один сантиметр, новый материал снижает уровень радиации в 1,5–2 раза и защищает от всех основных типов космического излучения, включая нейтроны, гамма-лучи, протоны и электроны. В 2022–2024 годах образцы материала были размещены на российском сегменте Международной космической станции. Эксперименты, проведенные в открытом космосе, полностью подтвердили лабораторные расчеты. В 2025 году итоговый отчет был представлен Роскосмосу. Исследователи отметили, что новый композитный материал в настоящее время официально рассматривается как один из основных кандидатов на защиту экипажа и электроники будущей российской орбитальной станции. Помимо непосредственной защиты космонавтов, он позволит инженерам отказаться от использования чрезвычайно дорогих радиационно-стойких микрочипов и вместо этого применять стандартные промышленные чипы, что позволит сэкономить миллиарды долларов [20].

Так же в Белгородском государственном технологическом университете имени Шухова совместно с Научно-исследовательским

испытательным центром подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина разработали многослойный полимер-углеродного композита для защиты от космического воздействия с высокими физико-механическими, радиационно-защитными и светоотражательными характеристиками. Причина этому содержание модифицированного диоксида вольфрама WO_2 ; два слоя углеродной ткани-полотна, керамическое покрытие на основе $\alpha-Al_2O_3$. При этом использование многослойной структуры, обеспечивающей экранирование и взаимное подавление потоков частиц и квантов в космическом пространстве, представляет собой более совершенную защиту от ионизирующих излучений по сравнению с известными композитными материалами аналогичного состава [21].

Таким образом развитие технологий для создания защитных материалов от космического ионизирующего излучения является очень интересной и перспективной задачей и поможет наиболее эффективно защитить космонавтов и оборудование при выполнении задач космической направленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Space Radiation Protection Countermeasures in Microgravity and Planetary Exploration. / Montesinos, C.A., Khalid R., Cristea O. [et al.] // Life. – 2021. – №11. – p. 829.
2. Радиационно-защитные железооксидные матрицы для кондиционирования жидких радиоактивных отходов АЭС / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Е. И. Евтушенко [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 163-167.
3. Ястребинская, А. В. Радиационно-защитные нанонаполненные полимеры / А. В. Ястребинская, Н. И. Черкашина, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1191-1194.
4. Матюхин, П. В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации / П. В. Матюхин, А. В. Косов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2016 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 583-587.
5. Matyukhin, P. Studies of Structural Changes in Surface and Deep Layers in Magnetite Crystals After High Pressure Pressing / P. Matyukhin //

14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) : Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Belgorod, 23–27 сентября 2019 года. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2019. – P. 239-243.

6. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите / И. В. Соколенко, Р. Н. Ястребинский, А. А. Крайний [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 145-148.

7. Матюхин, П. В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 40-41.

8. Павленко, В. И. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 22-25.

9. Структурно-фазовых превращений в многокомпонентных железосодержащих системах под действием радиационно-термического воздействия / Р. Н. Ястребинский, В. И. Павленко, П. В. Матюхин, З. В. Павленко // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 323-332.

10. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 35-39.

11. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 39-40.

12. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер / Р. Н. Ястребинский, И. В. Соколенко, Д. А. Иваницкий, П. В. Матюхин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-6. – С. 983-986.

13. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.

14. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783.

15. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

16. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

17. Черкашина, Н. И. Влияние высоких давлений при прессовании при синтезе на изменение физико-механических характеристик полимерных композитов на основе термопластичных эластомеров / Н. И. Черкашина, Э. В. Прут, П. В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 155-159. – DOI 10.12737/22762.

18. Высокоэффективный конструкционный полимерный материал для защиты от космической радиации / В. И. Павленко, Н. И. Черкашина, А. А. Курицын [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 2(43). – С. 105-115.

19. LaB₆-AlMg cermets: A new frontier in multifunctional shielding for space technology / O. Shichalin, A. A. Belov, I. A. Ushakov [et al.] // Materials Characterization. — 2025. — Vol. 231. — Art. 115912.

20. A problem unsolved for 30 years: Scientists create a revolutionary material for protection against cosmic radiation // NEWS.am Tech: — 2025. — 20 November. — URL: <https://tech.news.am> (дата обращения: 01.05.2026).

21. Патент № 2719682 С1 Российская Федерация, МПК G21F 1/12. Многослойный полимер-углеродный композит для защиты от космического воздействия и способ его получения : № 2019122918 : заявл. 16.07.2019 : опублик. 21.04.2020 / В. И. Павленко, А. А. Курицын, Е. В. Попова [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина».

Никонов И.В.¹, Новиков И.С.^{1,2}, Бусленко А.В.¹

Научный руководитель: Анциферова А.А.^{1,2}, канд. физ.-мат. наук, доц.

¹ *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,*

г. Москва, Россия

² *Московский физико-технический институт (национальный
исследовательский университет), Московская область,*

г. Долгопрудный, Россия

КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ СЕРЕБРА ВО ВНУТРЕННИХ ОРГАНАХ И ОТДЕЛАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Бурное развитие нанотехнологий в XXI веке привело к массовому внедрению наночастиц серебра (НЧ Ag) в медицину, фармацевтику и пищевую индустрию, благодаря их уникальным антисептическим, противовирусным и фунгицидным свойствам. В настоящее время НЧ Ag востребованы при производстве антибактериального мыла, зубных паст, косметических кремов, а также в качестве консервантов в упаковочных материалах для повышения срока годности продуктов. Особую актуальность использование наносеребра приобрело в условиях пандемии SARS-CoV-2 для создания эффективных санитайзеров и средств индивидуальной защиты. Тем не менее, широкое применение данной формы серебра ставит перед исследователями серьезные задачи в области нанобезопасности [1, 2]. Избыточное накопление наносеребра может инициировать токсические эффекты, вызывать окислительный стресс и оказывать негативное влияние на функционирование здоровых клеток и тканей млекопитающих [1]. Переход к наноформе значительно повышает биодоступность и проникающую способность вещества, позволяя ему преодолевать гистогематические барьеры, что требует тщательной токсико-гигиенической оценки.

Целью данной работы является детальное изучение паттернов распределения серебра во внутренних органах и отделах головного мозга лабораторных животных при продолжительном введении наночастиц серебра. Полученные результаты обеспечивают научную основу для комплексной токсико-гигиенической характеристики препаратов, содержащих наносеребро.

Материалы и методы. Исследования [3] проводили на половозрелых самцах мышей линии C57BL/6. Животным ежедневно

перорально вводили водный коллоидный раствор наночастиц серебра со средним диаметром 9 нм, стабилизированных поливинилпирролидоном, в дозе 50 мкг на особь. Выбор стабилизатора обусловлен необходимостью предотвращения агрегации частиц и поддержания устойчивости системы в биологических средах. Экспериментальный период охватывал длительную экспозицию до 180 суток, что позволяет моделировать эффекты хронического накопления. Для определения концентраций серебра в отобранных биологических образцах (печень, почки, селезенка, сердце, легкие, тестикулы, головной мозг и его отделы, а также крови) применяли метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Облучение образцов тепловыми нейтронами выполняли на реакторе ИР-8 (Россия), а определение активности искомого радиоактивного изотопа ^{110m}Ag проводили с использованием гамма-спектрометра ORTEC (США). Данный метод характеризуется уникальной чувствительностью и высокой точностью, позволяя детектировать следовые количества металла без разрушения матрицы образца.

Результаты. Серебро обнаружено во всех рассмотренных органах и в крови, однако в различных количественных соотношениях. При пролонгированном введении подтверждена способность серебра депонироваться в структурах головного мозга. Также отмечено значительное накопление металла в легких и тестикулах млекопитающих. Накопление серебра в селезенке, почках и сердце было минимальным. Фиксировали эффект выведения серебра из печени при продолжающемся введении на сроках экспозиции НЧ Ag от 120 до 180 суток, что может быть объяснено функцией данного органа, как фильтра организма.

Проведенный анализ биокинетики [1-3] указывает на то, что при оценке рисков использования наносеребра ключевую роль играет не только доза, но и время экспозиции, что обосновывает применение дозиметрического подхода. Способность наночастиц к длительному депонированию в жизненно важных органах, особенно в головном мозге, создает риски отложенной нейротоксичности и нарушения когнитивных функций. В то же самое время, этот результат позволяет ожидать максимальный терапевтический эффект наносеребра в таргетных органах (головной мозг, тестикулы, легкие), что повышает эффективность лечения при локализованных типах инфекций и является неоспоримым преимуществом. В отличие от макроскопического серебра, коллоидные формы обладают повышенной биодоступностью, что требует строгого контроля за оборотом препаратов наносеребра в биосфере. Дальнейшие исследования должны

быть сфокусированы на изучении молекулярно-генетических механизмов адаптации клеток к хроническому воздействию и оценке влияния накопленного серебра на поведенческие реакции в долгосрочной перспективе.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-19-00792).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анциферова А.А. Взаимодействие различных форм серебра с биологическими объектами / А.А. Анциферова, П.К. Кашкаров, М.В. Ковальчук // Российские нанотехнологии. – 2022. – Т. 17. – № 2. – С. 173–184. <https://doi.org/10.56304/S1992722322020029>

2. W.G. Kreyling. Quantitative biokinetics over a 28 day period of freshly generated, pristine, 20 nm silver nanoparticle aerosols in healthy adult rats after a single 1½-hour inhalation exposure / W.G. Kreyling, U. Holzwarth, S. Hirn et al. // Part Fibre Toxicol. – 2020. – V. 17. – P. 21. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00347-1>

3. Анциферова А.А. Аномально высокое накопление серебра в головном мозге, легких и тестикулах млекопитающих при приеме препаратов, содержащих наночастицы серебра / А.А. Анциферова, М.Ю. Копаева, В.Н. Кочкин, П.К. Кашкаров // Вестник Военного инновационного технополиса «ЭРА». – 2022. – Т. 3. – № 1. – С. 15–19. <https://doi.org/10.56304/S2782375X22010053>

УДК 004.912

Никонов Н.А., Григорян Э.С.

Научный руководитель: Крюков А.В., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МЕТОДЫ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Задачи обработки естественного языка являются одними из ключевых направлений развития интеллектуальных систем. Их решения находят применение в системах семантического поиска [1], классификации текста, машинного перевода или в интеллектуальных чат-ботах, способных определять намерения пользователя. В перечисленных областях ключевым вопросом является то, как представить данные на естественном языке в понятном и удобном для

обработки на ЭВМ виде. Для этого были разработаны различные методы векторного представления текстовых данных, которые напрямую влияют на качество и точность решаемых задач.

Рассмотрим различные методы векторного представления текстовых данных, для того чтобы обозначить в каких задачах и условиях применяется тот или иной метод.

Классические методы создают разреженные, высокоразмерные вектора, основанные на частоте слов в документе [2]. Одним из наиболее простых методов векторизации является метод «мешок слов» (Bag of Words, BoW). При таком подходе текст представляется в виде вектора, где каждый элемент показывает сколько раз слово из словаря встречается в конкретном документе. Рассмотрим пример. Возьмем два предложения: 1) "Вектор – это отрезок", 2) "Кибернетика – наука об управлении". Составим из них словарь: ['вектор', 'это', 'отрезок', 'кибернетика', 'наука', 'об', 'управлении']. Тогда векторы этих предложений будут следующими:

Вектор 1: [1, 1, 1, 0, 0, 0, 0]; Вектор 2: [0, 1, 0, 1, 1, 1, 1].

Недостатками такого метода являются отсутствие информации о семантической близости слов и то, что он не учитывает порядок слов в предложении.

Развитием рассмотренного метода стал метод TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency). Главной идеей такого подхода является то, что вес слова увеличивается с его частотой в документе, но уменьшается с частотой его употребления во всех других рассматриваемых документах. Частота слова в документе рассчитывается по следующей формуле:

$$TF(w, d) = \frac{f_{w,d}}{n(d)}, \quad (1)$$

где $TF(w, d)$ – частота слова w в документе d , $f_{w,d}$ – количество вхождений слова w в документе d , а $n(d)$ – количество слов в документе d .

Обратная частота встречаемости слова в выборке, рассчитывается по формуле (2). При этом чем чаще слово встречается в различных документах, тем ниже будет значение обратной частоты.

$$IDF(w) = \log \left(\frac{N}{1 + |\{d \in D: w \in d\}|} \right), \quad (2)$$

где $IDF(w)$ – обратная частота слова w , N – общее количество документов, а $|\{d \in D: w \in d\}|$ – количество документов, содержащих слово w .

Тогда итоговое значение веса слова в документе $W(w, d)$ определяется как произведение частоты слова в документе $TF(w, d)$ и его обратной частоты $IDF(w)$:

$$W(w, d) = TF(w, d) \cdot IDF(w). \quad (3)$$

Для каждого слова в документе находится его вес и составляется вектор всего предложения, но уже более информативный, в котором частые, но маловажные слова получают низкий вес, а уникальные для документа – высокий. Однако такой подход также не учитывает порядок и контекст слов.

Развитием классических алгоритмов стало появление плотных векторных представлений для отдельных слов, которые учитывали их семантическую схожесть. К таким методам относятся модели семейства Word2Vec и GloVe [3]. Метод Word2Vec основан на использовании контекстного окна, в котором встречается слово, то есть соседние слова, будут непосредственно влиять на значение его вектора. При этом используется 2 архитектуры CBOW (Continuous Bag Of Words) и Skip-gram (рис. 1).

Архитектура CBOW определяет центральное слово $w(t)$ на основе подающегося на ее входы контекстного окна $(w(t-1), w(t+1))$. Skip-gram работает наоборот, входным параметром является центральное слово, а задача модели состоит в предсказании его контекста.

Метод GloVe использует другой подход, он не рассматривает локальный контекст только для одного слова, а использует взаимосвязи слов во всем рассматриваемом документе (выборке). Для выборки строится матрица совместной встречаемости слов, где для каждого слова указывается, как часто оно встречается вместе со всеми другими в заданном контекстном окне. При обучении модели важно, чтобы скалярное произведение двух векторных представлений слов отражало, насколько часто эти слова встречаются вместе в контексте. Это гарантирует, что слова, встречающиеся в схожих контекстах, будут иметь схожие векторные представления.

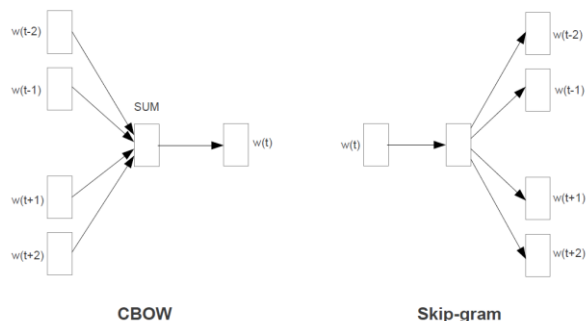


Рис. 1. Архитектуры модели Word2Vec

К преимуществам Word2Vec и GloVe можно отнести то, что они формируют компактные плотные векторы, отражают смысловую близость слов, позволяют находить похожие слова и могут использоваться в задачах классификации текстов, поиска, кластеризации и анализа тональности. Однако недостатком является то, что они формируют статическое представление слова, то есть одно слово всегда имеет один и тот же вектор независимо от контекста.

Решить проблему с пониманием контекста и порядка слов в предложении при построении векторного представления данных позволяет архитектура *Transformer* за счет алгоритма внимания *Self-attention* [4], который позволяет учесть для каждого токена текста контекст, в котором он используется. Именно этот механизм используется в современных моделях. Архитектура *Transformer* представляет собой наложенные друг на друга слои, через которые последовательно проходят входные данные в результате обработки.

На вход модели подаются плотные векторные представления токенов текста, которые могут быть получены, например с помощью методов Word2Vec, Glove или других специально обученных моделей. Так как в них не учитывается порядок слов в предложении, то с помощью слоя *Positional Encoding*, к векторам добавляется вектор позиционного кодирования:

$$PE_{pos,2i} = \sin\left(\frac{pos}{10000^{\frac{2i}{N}}}\right); PE_{pos,2i+1} = \cos\left(\frac{pos}{10000^{\frac{2i}{N}}}\right), \quad (4)$$

где PE – вектор позиционного кодирования, pos – позиция токена в последовательности, i – номер измерения вектора, N – размерность эмбединг-вектора модели.

Полученные позиционные векторы для каждого токена суммируются с входными векторами и подаются на слой *Multi-head*

attention, в котором механизм внимания Self-attention применяется несколько раз, анализируя различные типы связей: грамматические, смысловые и другие. После чего несколько векторов внимания для каждого токена объединяются в один:

$$a_i = f(W[a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}] + b), \quad (5)$$

где a_{ji} – промежуточные векторы внимания, W – матрица весов слоя, b – вектор смещения, $f(x)$ – функция активации.

Полученные векторы внимания суммируются с промежуточными векторами токенов, после чего нормализуются:

$$x_i = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i + \epsilon} \cdot \gamma + \beta, \quad (5)$$

где x_i – вектор токена, μ_i – среднее значение вектора токена, σ_i – стандартное отклонение, ϵ – малое значение для исключения деления на ноль, γ, β – обучаемые параметры.

После прохождения через несколько Transformer-слоев векторы токенов объединяются в один общий для всего текста/документа. Чаще всего берут среднее значение по всем токенам:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6)$$

где X – итоговый вектор текста, n – количество токенов, x_i – отдельные векторы токенов, после прохождения Transformer-слоев.

На описанной архитектуре базируется множество современных моделей для векторного представления текстовых данных, которые учитывают контекст и порядок слов, в результате чего выходные векторы, формируемые этими моделями, достаточно точно отражают смысл текстов.

Рассмотрим применение подобных современных моделей в задачах определения намерения клиента в чат-боте, путем определения семантической близости между запросами пользователя и списком предоставляемых услуг, сравнивая косинусное сходство векторов запросов и услуг (рис. 2). Как видно по рисунку схожие по смыслу запросы и услуги имеют высокое значение сходства, близкие к единице, а те между которыми связи почти не наблюдаются – низкое (меньше 0,5–0,4).

ТАБЛИЦА СХОДСТВА ЗАПРОСОВ С УСЛУГАМИ					
	Заказать справку 2-НДФЛ	Открыть больничный	Заявления на отпуск	Наиболее похожая услуга	Максимальное сходство
Как получить справку 2-НДФЛ?	0.920	0.150	0.197	Заказать справку 2-НДФЛ	0.920
Нужна справка о доходах 2 НДФЛ	0.848	0.136	0.279	Заказать справку 2-НДФЛ	0.848
Заказать документ о доходах	0.644	0.250	0.433	Заказать справку 2-НДФЛ	0.644
Где скачать справку 2ндфл?	0.847	0.126	0.165	Заказать справку 2-НДФЛ	0.847
Справка о доходах для банка	0.542	0.272	0.480	Заказать справку 2-НДФЛ	0.542
Как оформить больничный лист?	0.320	0.604	0.373	Открыть больничный	0.604
Открыть электронный больничный	0.275	0.807	0.310	Открыть больничный	0.807
Как взять больничный по болезни?	0.167	0.636	0.296	Открыть больничный	0.636
Больничный через поликлинику	0.086	0.431	0.189	Открыть больничный	0.431
Оформление листа нетрудоспособности	0.350	0.477	0.464	Открыть больничный	0.477
Как написать заявление на отпуск	0.254	0.382	0.810	Заявления на отпуск	0.810
Когда у меня будет отпуск?	0.088	0.304	0.532	Заявления на отпуск	0.532
Мне нужен отпуск	0.215	0.411	0.676	Заявления на отпуск	0.676
Взять кредит	0.180	0.233	0.232	Открыть больничный	0.233
Заказать доставку	0.309	0.229	0.266	Заказать справку 2-НДФЛ	0.309
Вызвать такси	0.145	0.309	0.296	Открыть больничный	0.309

Рис. 2. Определение семантического сходства запрос и услуг

Анализируя все изложенные методы векторного представления текстовых данных, можно сделать следующие выводы. Классические методы имеют место только в качестве ознакомления. В задачах классификации текста и поиска, по ключевым словам, могут применяться как методы Word2Vec и Glove, так и модели не архитектуры Transformer, однако последние требуют наличия более производительного оборудования. В различных интеллектуальных чат-ботах или системах, где происходит непосредственный анализ естественного языка пользователя, наилучшим образом будут себя показывать актуальные модели, построенные с использованием принципов архитектуры Transformer.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горин, Н. В. Поиск по ключевым словам с определением релевантности документа с помощью семантической сети [Текст] / Н. В. Горин, А. В. Крюков // Энергетические, управляющие и информационные системы: сборник докладов I международной научно-технической конференции, Белгород, 22–23 декабря 2016 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 21-26.
2. Попова, О. А. Анализ методов векторизации текстовых документов [Текст] / О. А. Попова // Вестник РГРТУ. – 2023. – № 85. – С. 96-102.
3. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // arXiv preprint arXiv:1301.3781. 2013.
4. Vaswani A. Attention Is All You Need [Текст] / A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, Ł. Kaiser, I.

УДК 615.015, 543.53

Новиков И.С.^{1,2}, Никонов И.В.¹, Бусленко А.В.¹

Научный руководитель: Анциферова А.А.^{1,2}, канд. физ.-мат. наук, доц.

¹ *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт (Национальный
исследовательский университет), Московская область,
г. Долгопрудный, Россия*

БИОКИНЕТИКА СЕРЕБРА В ОРГАНИЗМЕ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ЦИТРАТОМ СЕРЕБРА

Серебро (Ag) известно человечеству с древности благодаря своим выраженным антисептическим свойствам [1]. В Древнем Египте и Месопотамии серебряные изделия применяли для обеззараживания воды и лечения ран. В индусской литературе описывалось очищение воды путем контакта с раскаленным металлическим серебром [1, 2]. В средние века рыцари ордена Госпитальеров использовали серебряную посуду для профилактики кишечных инфекций, что давало им преимущество в военных кампаниях. В XIX–XX веках с развитием микробиологии стали применять растворимые соли серебра (нитрат, ацетат, цитрат), а также его коллоидные формы. С появлением антибиотиков интерес к серебру временно снизился, однако затем возобновился из-за роста антибиотикорезистентности. Сегодня соединения Ag широко используются в медицине (раневые повязки, катетеры, кремы), пищевой промышленности (консерванты), косметологии и текстильной промышленности [1, 2].

Цель данной работы - исследование биокинетики серебра в организме лабораторных животных при длительном введении цитрата серебра, как примера хелатного комплекса серебра.

Материалы и методы.

- Мыши самцы линии C57BL/6 (начальный вес 20-22 г.) (Филиал Столбовая ФГБУН Нцбмт ФМБА России, Россия).

- Цитрат серебра (ЛенРеактив, Россия)

- Нейтронно-активационный анализ (НАА):
Высокочувствительный метод (предел обнаружения ~1 нг/г), позволяющий определять содержание Ag в биологических образцах.

Результаты. Серебро обнаружено во всех органах при всех сроках введения. Максимальные концентрации обнаружены в тестикулах, лёгких, толстом кишечнике, головном мозге. Медианные концентрации – в тонком кишечнике и крови. Минимальные концентрации – в селезёнке, печени, сердце, почках. В желудочно-кишечном тракте наибольшая концентрация серебра зафиксирована в толстом кишечнике. На 30-е сутки наблюдали «скачок» роста концентрации серебра. В лёгких, крови, тонком кишечнике, сердце отмечается выход на плато. В печени зарегистрировано снижение концентрации серебра на 180-е сутки.

Полученные биокинетические параметры являются неотъемлемой частью токсико-гигиенической характеристики цитрата серебра как потенциального антимикробного препарата. Особого внимания заслуживает длительное сохранение серебра в тестикулах, головном мозге и легких, что требует дальнейших исследований возможного влияния на репродуктивную функцию, когнитивные процессы и дыхательную систему при хроническом поступлении

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-19-00792).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

А Щербаков А.Б., Корчак Г.И., Сурмашева Е.В. и др. // Фармацевтический журнал. 2006. N 5. С. 45.

Antsiferova A.A., Kashkarov P.K., Kovalchuk M.V. Effect of Different Forms of Silver on Biological Objects // Nanobiotechnology Reports, 2022, V. 17, N. 2, pp. 155–164, doi: 0.1134/S2635167622020021

¹Панченко А.В., ¹Серых В.Д.

Научный руководитель: ²Смоляго Н.А., канд. техн. наук, доц.

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ).

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ЧАСТНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ФУНКЦИОНАЛА В КРИТЕРИЯХ СИНТЕЗА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Под структурным синтезом несущих конструкций подразумевается создание системы, которая в пределах существующих требований эффективно проявляет несущую способность [1].

В основу ее деформирования положен общезначимый принцип стационарного действия, который в теории синтеза представляется в виде специфических вариационных принципов [2], простирающихся из принципов Лагранжа и Кастильяно [3, 4].

Известно, что при линейном физическом законе дополнительная энергия эквивалентна потенциальной энергии деформации, что позволяет эффективно принимать за основу принцип Кастильяно.

Математическим выражением принципа структурного синтеза является условие стационарности расширенного функционала, то есть равенство нулю его первой вариации: $\delta J = 0$.

При $J [y_1(x), y_2(x), \dots, y_n(x)]$ это условие принимает вид [5]:

$$\delta J = \frac{\partial J}{\partial y_1} \delta y_1 + \frac{\partial J}{\partial y_2} \delta y_2 + \dots + \frac{\partial J}{\partial y_n} \delta y_n = 0. \quad (1)$$

Ввиду произвольности вариаций $\delta y_1, \delta y_2, \dots, \delta y_n$ получаем условия:

$$\frac{\partial J}{\partial y_1} = 0, \frac{\partial J}{\partial y_2} = 0, \dots, \frac{\partial J}{\partial y_n} = 0, \quad (2)$$

из которых вытекают уравнения, выражающие критерий стационарности системы относительно искомых параметров.

Этот вывод имеет существенное значение. Проектный критерий не должен быть субъективным фактором. Он должен иметь строгое физическое и математическое выражение, основываться на частных производных функционала задачи синтеза конструкции [6].

Рассмотрим консоль длиной l , нагруженную силой F (рис.1). При заданном модуле Юнга E , объеме материала V_0 и высоте прямоугольного поперечного сечения h определим его ширину $b(x)$.

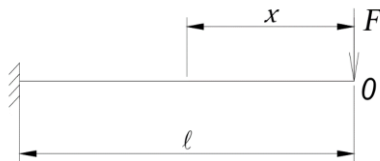


Рис. 1. Консоль

Потенциальная энергия деформации связана с изгибающими моментами $M(x)$ и параметрами $b(x)$:

$$U = \int_0^l \frac{M^2(x) dx}{2EI(x)} = \int_0^l \frac{6F^2 x^2 dx}{Eb(x)h^3}. \quad (3)$$

Функционал задачи синтеза консоли определим на основе формулы (3) и дополнительного условия:

$$h \int_0^l b(x) dx - V_0 = 0 \quad (4)$$

и множителя Лагранжа μ_1 :

$$J_1 = \frac{6F^2}{Eh^3} \int_0^l \frac{x^2 dx}{b(x)} + \mu_1 \left[h \int_0^l b(x) dx - V_0 \right]. \quad (5)$$

В формулах (1) и (2) в роли y_1 и y_2 выступают $b(x)$ и μ_1 .

Из условия $\frac{\partial J_1}{\partial b(x)} = 0$ вытекает уравнение:

$$-\frac{6F^2}{Eh^3} \frac{x^2}{b^2(x)} + \mu_1 h = 0, \quad (6)$$

откуда

$$b(x) = \frac{Fx}{h^2} \sqrt{\frac{6}{E\mu_1}}. \quad (7)$$

Для определения множителя $\sqrt{\mu_1}$, используем условие $\frac{\partial V}{\partial \mu_1} = 0$, из которого при учете формулы (7) вытекает уравнение:

$$\frac{Fl^2}{2h} \sqrt{\frac{6}{E}} - \sqrt{\mu_1} V_0 = 0, \quad (8)$$

откуда

$$\sqrt{\mu_1} = \frac{Fl^2}{2V_0 h} \sqrt{\frac{6}{E}}. \quad (9)$$

Таким образом,

$$b(x) = \frac{2V_0}{l^2 h} x. \quad (10)$$

Потенциальная энергия деформации по формуле (3) равна:

$$U = \frac{3F^2 l^4}{2EV_0 h^2}. \quad (11)$$

Для проверки решения задачи произведем ее двойственную постановку, считая энергию U заданной. Функционал объема имеет вид:

$$J_2 = h \int_0^l b(x) dx + \mu_2 \left[\frac{6F^2}{Eh^3} \int_0^l \frac{x^2 dx}{b(x)} - \frac{3F^2 l^4}{2EV_0 h^2} \right]. \quad (12)$$

В формулах (1) и (2) в роли y_1 и y_2 теперь выступают $b(x)$ и μ_2 .

Из условия $\frac{\partial J_2}{\partial b(x)} = 0$ вытекает уравнение для $b(x)$:

$$1 - \mu_2 \frac{6F^2 x^2}{Eh^4 b^2(x)} = 0, \quad (13)$$

откуда

$$b(x) = \frac{Fx}{h^2} \sqrt{\frac{6\mu_2}{E}}. \quad (14)$$

Для определения множителя $\sqrt{\mu_2}$ используем условие $\frac{\partial J_2}{\partial \mu_2} = 0$, из которого при учете формулы (14) вытекает уравнение:

$$\frac{3Fl^2}{Eh} \sqrt{\frac{E}{6\mu_2}} - \frac{3F^2 l^4}{2EV_0 h^2} = 0, \quad (15)$$

откуда

$$\sqrt{\mu_2} = \frac{2V_0 h}{Fl^2} \sqrt{\frac{E}{6}} \left(= \frac{1}{\sqrt{\mu_1}} \right). \quad (16)$$

Равенство $\sqrt{\mu_1 \mu_2} = 1$, или $\mu_1 \mu_2 = 1$ приемлемо при постановке изопериметрической задачи. Используем выражение (16) для формулы (14), в результате чего получим формулу (10) для ширины сечения консоли.

Наибольшее по модулю напряжение:

$$\sigma_0 = \frac{6Fx}{b(x)h^2} = \frac{3Fl^2}{V_0 h} \quad (17)$$

имеет постоянную величину по длине консоли. Верхняя и нижняя поверхности S консоли считаются как экстремальные изоэнергетические поверхности, так как

$$u_s = \frac{\sigma_0^2}{2E} = \text{const}, \quad (18)$$

$$u_s = \frac{(1+\nu)\sigma_0^2}{3E} = \text{const}, \quad (19)$$

где u_s – потенциальная энергия деформации на единицу объема для S , ν – коэффициент поперечной деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мажид К.И. Оптимальное проектирование конструкций. М.: Высшая школа, 1979. 238с.

2. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90с.
3. Пратусевич Я.А. Вариационные методы в строительной механике. Л.: Гостехиздат, 1948. 400с.
4. Абовский Н.П., Андреев Н.П., Деруга А.П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек. М.: Наука, 1978. 288с.
5. Цлаф Л.Я. Вариационное исчисление и интегральные уравнения: Справочное руководство. М.: Наука, 1970. 192с.
6. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Зинькова В.А. Структурный синтез стержневых систем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. №10. С. 34-40. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-34-40.

УДК 728.9

Педенко В.А., Склярова В.Е.

Научный руководитель: Перькова М.В., д-р. арх., доц.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

АГРОТУРИСТИЧЕСКИЙ МАРШРУТ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ СОЦИАЛЬНО- ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОСНОВЫ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Современные фермерские хозяйства переживают трансформацию: традиционная монофункциональная модель аграрного производства уступает место многофункциональным комплексам, интегрирующим производственные, перерабатывающие, социальные и туристические функции. Данная тенденция фиксируется как в зарубежной практике, где свыше 40% ферм уже включают туристические функции, так и в отечественном агропромышленном комплексе в контексте государственной стратегии развития АПК до 2030 года. Фермерские хозяйства остаются значимым сегментом аграрного сектора, производя 14,2% всей сельскохозяйственной продукции страны [1]. Включение фермерских хозяйств в туристический маршрут предъявляет новые требования к пространственной организации комплекса: выделению гостевых зон, организации демонстрационных и рекреационных пространств, обеспечению функционального зонирования с учётом одновременного присутствия производственного персонала и посетителей. Таким образом, агротуристический маршрут выступает не только элементом туристической инфраструктуры, но и инструментом формирования новой социально-функциональной основы фермерских хозяйств.

В основе любого агротуристического маршрута необходимо создать единую систему, где каждый элемент дополняет предыдущий. Агротуризм предполагает организацию отдыха на сельских территориях с возможностью изучения местной культуры, традиций, а также участия в сельскохозяйственных работах и дегустации продуктов, произведённых на территории туристического маршрута [2]. При проектировании агротуристического маршрута необходимо учитывать семь ключевых аспектов. Локальная идентичность предполагает раскрытие историко-культурного наследия, ландшафта и архитектуры места, формируя представление о его уникальности. Баланс активности и отдыха достигается чередованием познавательных остановок, физических нагрузок и зон отдыха. Инфраструктура и доступность подразумевают создание комфортной среды для всех категорий посетителей за счёт продуманной логистики и необходимого набора удобств. Сезонность и вариативность требуют адаптации маршрута к природным циклам. Важнейшим архитектурно-планировочным аспектом является пространственная организация объектов маршрута: объёмно-пространственные решения зданий и сооружений КФХ, наличие гостевых зон, зон демонстрации производства и переработки продукции, их соответствие региональным и современным принципам устойчивого проектирования.

Анализ ресурсной базы сельских поселений для маршрутообразования представляет собой комплексную оценку природных, культурно-исторических, социально-экономических и инфраструктурных ресурсов [3]. На первом этапе исследуются природные компоненты (рельеф, водоёмы, лесные и луговые массивы, климат, биоразнообразие), включая особо охраняемые объекты и сезонную динамику. Далее проводится инвентаризация культурно-исторического наследия. Сельский туризм является источником новых рабочих мест, способствует развитию инфраструктуры, росту уровня жизни населения. Инфраструктурный блок охватывает транспортную сеть, объекты сервиса, навигацию и цифровизацию, анализируемые по пропускной способности и доступности для маломобильных групп. Итогом становится карта ресурсной базы, сводная таблица оценок и перечень перспективных маршрутов с описанием целевой аудитории.

Разработка агротуристического маршрута представляет собой многоэтапный процесс, включающий анализ потенциала территории, формирование концепции, проектное предложение по развитию фермерских хозяйств, организацию сервиса и оформление документации. Современные туристы желают отдохнуть, но при этом сохранить активность и деятельность, их приоритетом является

потребление экологически чистых продуктов питания и проживание в чистой среде. На экономическом этапе рассчитываются себестоимость, цены и рентабельность. После запуска осуществляется мониторинг на основе анализа отзывов, загрузки и ключевых показателей, а также актуализация программы с включением новых объектов и расширением партнёрской сети.

Отбор объектов для включения в агротуристический маршрут основывается на совокупности архитектурных, функциональных и социально-экономических факторов. В маршрут включаются действующие сельскохозяйственные объекты, готовые к приёму посетителей и демонстрации производственных процессов. Ключевым критерием выступает архитектурно-планировочная типология КФХ: наличие в структуре комплекса выделенной гостевой зоны, зоны переработки и прямой продажи продукции, зоны демонстрации производственных процессов. Выразительная объёмно-пространственная композиция, отражающая региональную идентичность, является самостоятельным критерием отбора, формирующим архитектурный образ маршрута. Также учитываются транспортная доступность, безопасность и наличие необходимой инфраструктуры, включая санитарные зоны, места отдыха и навигацию. При этом отбор не ограничивается объектами, полностью соответствующими предъявляемым требованиям: в ряде случаев существующая планировочная структура фермерского хозяйства допускает корректировку и может стать основой для проектного предложения по развитию комплекса. Такой подход предполагает разработку архитектурно-планировочных решений по дополнению функциональной структуры КФХ необходимыми туристическими зонами, без нарушения производственного цикла, что позволяет расширить круг потенциальных объектов маршрута и одновременно создаёт инструмент поэтапного перевода фермерских хозяйств на новую социально-функциональную основу. Предпочтение отдаётся объектам, реализующим принципы устойчивого развития и сохраняющим локальные культурные традиции [4].

Агротуризм представляет собой перспективное направление развития туристической индустрии, которое способствует не только экономическому росту сельских территорий, но и сохранению культурного наследия, традиций и природных ресурсов [5]. Оценка эффективности агротуристических маршрутов направлена на определение степени достижения социально-экономических и пространственных целей проекта. В архитектурном аспекте анализируется качество организации маршрута, интеграция объектов в

ландшафт и соответствие инфраструктуры нормативным требованиям. При формировании маршрутов учитывается региональная специфика объектов показа: на юге интерес для туристов представляют виноградники и винодельни, чайные плантации, садоводческие хозяйства, пасеки, рыбные хозяйства. Объектами туризма в центре страны являются животноводческие хозяйства, конные клубы, пасеки и сыроварни, что отражает территориальные особенности сельскохозяйственного производства и влияет на структуру маршрутов. Основными показателями эффективности являются туристический поток, экономическая отдача, уровень удовлетворённости посетителей и степень экологической устойчивости.

Таким образом, агротуристический маршрут выступает инструментом формирования новой социально-функциональной основы фермерских хозяйств, интегрирующей производственные, социальные и туристические функции в единый комплекс. Эффективность маршрута определяется глубиной анализа территориального потенциала, обоснованностью отбора объектов по их архитектурно-планировочным характеристикам, качеством пространственной организации и соответствием современным требованиям экологичности и комфорта. Системный мониторинг и последующая корректировка маршрута обеспечивают его адаптивность, конкурентоспособность и долгосрочное функционирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перькова, М. В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области): специальность 05.23.22 "Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов": диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Перькова Маргарита Викторовна. – Санкт-Петербург, 2019. – 912 с. – EDN NFDRJG.

2. Карасев, А. П. Качественные маркетинговые исследования в сфере агротуризма / А. П. Карасев, У. Е. Беляевская, Т. В. Грунт // Теоретические и прикладные вопросы экономики, управления и образования : Сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 12–13 июня 2025 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2025. – С. 308-311. – EDN LVRXNH.

3. Педенко, В. А. Роль сельскохозяйственных организаций агропромышленного комплекса в формировании экономического

потенциала региона (на примере Белгородской области) / В. А. Педенко // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 13, № 10(165). – С. 165-180. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.10.13.018. – EDN REWPET.

4. Закшевская, Т. В. Сельский туризм как фактор устойчивого развития сельских территорий / Т. В. Закшевская // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Воронеж, 23–24 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 97-99. – EDN DFPLAK.

5. Грубая, Ю. В. Сельский туризм: особенности объемно-планировочной организации / Ю. В. Грубая // Архитектура Крыма : к 160-летию со дня рождения архитектора Н.П. Краснова, Симферополь, 19–20 марта 2025 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2025. – С. 67-71. – EDN VNAXXV.

УДК 621.396.962.33

Перепёлкин М. В

***Научный руководитель: Верецагин А. В., канд. техн. наук, доц.
Балтийский государственный технический университет Военмех
имени Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия***

СИНТЕЗ ЛЧМ СИГНАЛА ЗАДАННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ПОЛОСЫ ПУТЁМ ОБРАТНОЙ БЫСТРОЙ СВЁРТКИ С ДАННЫМИ, ПРОШЕДШИМИ НЕОБРАТИМУЮ ОБРАБОТКУ

Важным этапом, предшествующим практической реализации алгоритма обработки сигналов в реальной радиолокационной системе, является его верификация – проверка совпадения результатов его использования с теми, которые должны быть. Для того, чтобы верифицировать алгоритм обработки сигналов, прежде всего нужно синтезировать эхо-сигнал.

Данная статья посвящена рассмотрению варианта синтеза эхо-сигнала путём обратной свёртки произвольно заданного выходного сигнала согласованного фильтра с его импульсной характеристикой – зондирующим сигналом в виде импульса с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с произвольной длительностью и полосой.

Сигнал на выходе согласованного фильтра описывается формулой свёртки:

$$f(\tau) = \int s(t)h(\tau - t)dt, \quad (1)$$

где, s – входной сигнал,

h – импульсная характеристика фильтра (зеркальная копия сигнала, с которым согласован фильтр).

Согласно свойствам преобразования Фурье [1], данную операцию можно провести в частотной области (быстрая свёртка) (2). В цифровых системах используется именно этот подход, после чего производится обратное преобразование Фурье.

$$f(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega), \quad (2)$$

где, $S(\omega)$ – преобразование Фурье входного сигнала,

$H(\omega)$ – передаточная характеристика согласованного фильтра.

Пусть массив, содержащий значения сигнала на выходе согласованного фильтра, включает 5 тыс. отсчётов. Ради наглядности лишь одно значение было расположено по центру массива.

Эмпирически определено, что перед выполнением дальнейших действий требуется пропустить исходный сигнал через фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза, равной полосе ЛЧМ (рис. 1).

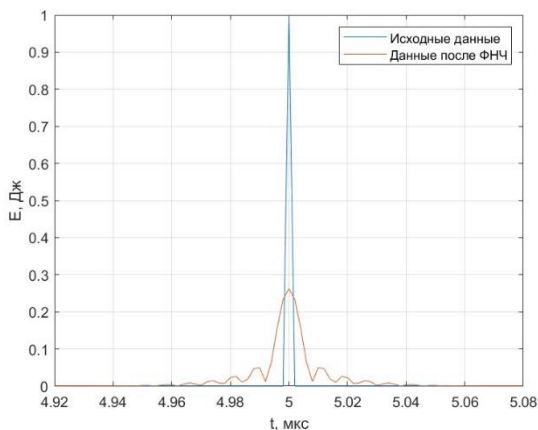


Рис. 1. Входные массивы данных

Теперь нужно произвести операцию быстрой свёртки в обратном порядке. Согласно формуле (2) для получения спектра сигнала нужно выполнить деление спектра результата на передаточную характеристику фильтра, а далее выполнить операцию обратного преобразования Фурье.

После выполнения указанных действий был получен результат на рисунке 2.

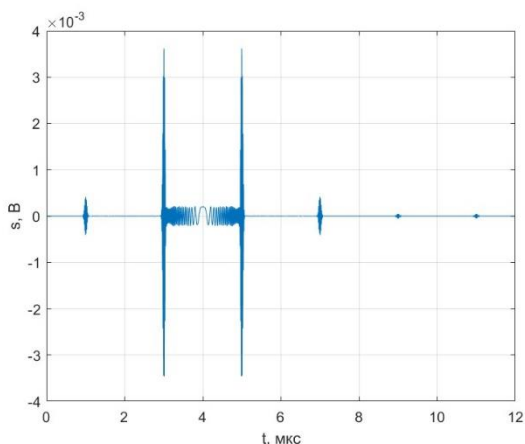


Рис. 2. Синтезированный сигнал с длительностью 2 мкс и полосой 100 МГц

Увеличение длительности результата относительно исходных данных вызвано особенностями выполнения операции обратной свёртки.

По рисунку 2 видно, что в синтезированном сигнале появились всплески на окончаниях и возникли дополнительные искажения по сторонам. Всплески вызваны тем фактом, что значения спектра входных данных делятся на относительно малые значения спектра ЛЧМ, что приводит к резкому возрастанию результирующих значений.

Таким образом, по обработанным данным возможно синтезировать эхо-сигнал заданной длительности и полосы, но с искажениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. / И. С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.

*Петрухина Э.П., Петров И.С., Хозяинов С.А.
Научный руководитель: Матюхин П.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На сегодняшний день радиоактивные элементы находят широкое применение в самых различных областях, включая медицину, науку, промышленность и энергетику. Это поднимает важный вопрос организации качественной биологической защиты от радиации. Для достижения этой цели используются разнообразные виды радиационно-защитных материалов, которые включают различные матрицы и наполнители. Эти компоненты придают материалам необходимые физико-механические свойства, а также эффективные радиационно-защитные характеристики [1-17].

Радиационно-защитные материалы играют ключевую роль в обеспечении безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения. Их основное предназначение — защита рабочей зоны и окружающей среды от негативного воздействия радиации.

Рассмотрим основные свойства радиозащитных материалов:

1. Первое и наиболее важное свойство — это способность поглощать и рассеивать различные виды ионизирующего излучения, включая альфа-, бета- и гамма-излучение. Данное свойство основывается на различной способности веществ поглощать разные виды ионизирующего излучения. Основным механизмом потерь энергии заряженной частицей при прохождении через вещество является ионизационное торможение. При этом кинетическая энергия частицы расходуется на возбуждение и ионизацию атомов среды [18].

2. Ключевыми аспектами радиационной защиты являются плотность и толщина слоя материала. Высокоплотные вещества, такие как свинец, обеспечивают надежную защиту от гамма-излучения и рентгеновских лучей. В то же время для защиты от альфа- и бета-частиц подойдут менее плотные материалы, такие как бумага или пластик. Это утверждение подтверждает, что выбор материала должен основываться на типе и источнике радиации, с которым предстоит работать. Толщина слоя заданного материала, уменьшающая уровень радиации в два раза, называется слоем половинного ослабления. Соотношение уровня радиации до и после защиты называется коэффициентом защиты. С

увеличением толщины слоя противорадиационной защиты количество пропущенной радиации падает экспоненциально. Так, если слой половинного ослабления слежавшегося грунта составляет для гамма-излучения осколков деления 9,1 см, то насыпь толщиной 91 см (типичная насыпь над противорадиационным убежищем) значительно уменьшит воздействия ионизирующих излучений [19].

3. Энергетическая зависимость имеет большое значение для радиозащитных материалов, так как она влияет на их свойства по поглощению электромагнитного излучения и нейтронного излучения. Например, в радиозащитных материалах на основе наноуглерода наночастицы проникают в микропоры и структурные каналы матрицы, создавая электропроводный каркас. При этом возникают квантовые эффекты и образуется необходимый набор энергетических уровней перехода, обеспечивающих уверенное поглощение электромагнитного излучения. Также энергетическая зависимость влияет на защитные свойства материалов от нейтронного излучения: проникающая способность нейтронов зависит от энергии излучения и состава вещества, с которым они взаимодействуют. Например, для эффективного поглощения тепловых нейтронов применяются материалы, имеющие большое сечение поглощения, содержащие бром, кадмий, тяжелые бетоны и др. [20-21].

4. Устойчивость радиозащитных материалов к внешним условиям. Они должны быть долговечными, устойчивыми к химическим веществам и механическим повреждениям, а также легкими в установке и обслуживании. Радиационно-защитные материалы должны иметь высокие стойкие характеристики к внешним условиям. К таким относятся: воздействие влаги и химических веществ (например, радиационно-защитные маты РЗМ «Абрис» устойчивы к этим факторам, что обеспечивает оптимальный срок службы материала и его надёжность в экстремальных условиях). Термические воздействия (например, углеродные волокна и композиты устойчивы к термическим воздействиям и вакууму) [22-23].

Таким образом, радиозащитные материалы являются критически важными для обеспечения безопасности в условиях работы с источниками ионизирующего излучения. Выбор правильного радиозащитного материала требует комплексного анализа разных факторов, начиная от спецификации источника радиации и заканчивая условиями эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюхин, П. В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования / П. В. Матюхин, Р. Н. Ястребинский, А. В. Широков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 8. – С. 23-28.

2. Matyukhin, P. V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix / P. V. Matyukhin // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – No. 2. – P. 42.

3. Матюхин, П. В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации / П. В. Матюхин, А. В. Косов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2016 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 583-587. – EDN XEIKTP.

4. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

5. Павленко, В. И. Эманирующая способность радона минерального сырья, используемого при изготовлении строительных бетонов / В. И. Павленко, Ю. В. Ветрова, П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 39-43.

6. Использование органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету / З. В. Павленко, Л. В. Денисова, П. В. Матюхин, Д. А. Иваницкий // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 9-3. – С. 515-518.

7. Патент № 2572271 С1 Российская Федерация, МПК B22F 1/02, C01B 6/34. Способ нанесения боросиликатного покрытия на частицы гидрида титана : № 2014131233/02 : заявл. 28.07.2014 : опубл. 10.01.2016 / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, О. В. Куприева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский

государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", г. Белгород.

8. Снижение радиоактивных загрязнений поверхности стальных конструкций радиационно-защитного транспортного контейнера на основе железорудного сырья КМА / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области, Белгород, 20–21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 228-234.

9. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

10. Матюхин, П. В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матюхин Павел Владимирович. – Белгород, 2004. – 170 с.

11. Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85. – EDN PYAKFP.

12. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

13. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide / A. I. Gorodov, A. A. Mogutova, P. V. Matyukhin, D. S. Romanyuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388, No. 1. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012116.

14. Структурообразование металлоолигомерных водных дисперсий / Р. Н. Ястребинский, В. И. Павленко, А. В. Ястребинская, П. В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 121-123.

15. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.

16. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железооксидными композитами / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51, № 11. – С. 66-71.

17. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.

18. Радиоактивное излучение. Защитные свойства материалов. // StudFiles URL: <https://studfile.net/preview/2618935/> (дата обращения: 14.10.2024).

19. Радиационная защита // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиационная_защита (дата обращения: 15.04.2026).

20. Разработка и исследование радио- и радиационно-защитных композиционных материалов / В.Н. Гульбин, Н.С. Колпаков, В.В. Горкавенко, В.В. Чердынцев // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. - 2015. - №2. - С. 3-5.

21. Михайлова, А.Ф. Исследование защитных свойств гомогенных радиационно-защитных материалов по отношению к нейтронному излучению / А.Ф. Михайлова, В.Р. Лукьяненко, О.Л. Ташлыков // Конференция молодых ученых. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016. - С. 267-269.

22. Обеспечение защиты персонала с помощью мата РЗМ Абрис при проведении радиационно-опасных работ // zgm URL: <https://zgm.ru/primenenie/atomnaya-promyshlennost/obespechenie-zashhity-personala-s-pomoshhyu-mata-rzm-abris-pri-provedenii-radiacionno-opasnyh-rabot> (дата обращения: 15.04.2026).

23. Журавлев С.Ю. Термостойкие радиопоглощающие композиционные материалы на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий: дис. канд. техн. наук: 05.16.09. - Москва, 2018. - 24 с.

Петухов Е.А.¹, Катаев А.В.²

Научный руководитель: Темасова Г.Н.¹, д-р. техн. наук, доц.

*¹Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия*

*²ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
г. Москва, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В транспортной, сельскохозяйственной и строительной отраслях дизельные двигатели незаменимы, их главные преимущества – это высокий КПД, экономичность по расходу топлива и надежность в экстремальных условиях [1-3]. Следует отметить, что эти преимущества достигаются за счет высоких нагрузок на все компоненты двигателя: давление сгорания в цилиндрах может достигать 15-30 Мпа, температура газов – 1500-1800 градусов Цельсия, а степень сжатия находится в диапазоне 16:1-23:1, что существенно выше, чем у бензиновых двигателей.

Блок цилиндров является основной корпусной деталью, интегрирующей кривошипно-шатунный механизм (КШМ), газораспределительный механизм (ГРМ), систему смазки и систему охлаждения. В этой связи выделяются три основных аспекта, обосновывающих высокие требования к контролю технического состояния и своевременному восстановлению блоков цилиндров [4-7]:

1. Высокая стоимость и сложность замены. Блок цилиндров является одной из самых дорогих деталей дизельного двигателя (до 30-40% стоимости двигателя в сборе), а его замена требует полной разборки двигателя, трудоемких слесарных и станочных работ;

2. Низкая ремонтпригодность в полевых условиях. В отличие от навесного оборудования, дефекты блока цилиндров, как правило, не могут быть устранены без демонтажа двигателя и специализированного оборудования;

3. Безопасность эксплуатации. Внезапное разрушение блока цилиндров на работающем двигателе может привести к аварийной ситуации, травмам водителя и значительному экологическому ущербу.

Далее рассмотрим наиболее распространенные дефекты блоков цилиндров (гильзованных и негильзованных) дизельных двигателей и современные технологии их восстановления:

– *Конусность, эллипс, износ диаметра цилиндра.* Для восстановления применяют расточку и хонингование под ремонтный размер. Сущность метода заключается в механическом увеличении диаметра цилиндра до ближайшего ремонтного размера с последующей финишной обработкой для получения правильной геометрии и заданной шероховатости. Контроль качества проводят с использованием нутромера, профилометра. Метод применим, если толщина стенки цилиндра/гильзы после расточки не менее 3-4 мм;

– *Глубокие царапины и повреждения на зеркале цилиндра (без сквозного повреждения).* Для восстановления применяют электроискровую наплавку (электроконтактная приварка ленты). Сущность метода заключается в нанесении слоя металла на поврежденный участок короткими искровыми разрядами с последующим хонингованием до номинального размера. Толщина наплавленного слоя должна быть 0,05-0,3 мм, отслоения отсутствуют. Данный метод является точным, но не подходит для больших площадей;

– *Кавитационная эрозия посадочного гнезда блока цилиндров (опорного бурта).* Для восстановления применяют наплавку и расточку. Сущность метода заключается в заварке поверхности (аргонодуговая – для алюминия, чугунными электродами – для чугуна) с последующей механической обработкой гнезда до номинального или ремонтного диаметра. Данный метод не рекомендуется для V-образных блоков с тонкими стенками;

– *Местные прогары и глубокие царапины на привалочной плоскости.* Для восстановления применяют заварку и фрезерование. Сущность метода заключается в заварке отдельных углублений (аргоном – для алюминия, чугунными электродами – для чугуна) с последующим фрезерованием всей плоскости или шлифовкой места. Контроль качества проводится с помощью цветной дефектоскопии, раковины и трещины должны отсутствовать после заварки. Для чугуна – обязательный предварительный подогрев (300-400 градусов цельсия), после заварки – медленное охлаждение в песке или с термоодеялом;

– *Мелкие литейные раковины, поры.* Для восстановления применяют герметизацию полимерными составами (холодное отверждение). Сущность метода заключается в заполнении пор и раковин эпоксидными или металлополимерными составами, не требующими нагрева, после механической обработки поверхности. Контроль качества осуществляется визуально – отсутствие раковин. Данный метод не восстанавливает прочность, только герметичность, поэтому допустим для несилowych зон (нерабочие полости);

– *Глубокие задиры, потеря размера ($>0,3$ мм) на чугунных блоках.* Для восстановления применяют плазменное напыление (металлизация) цилиндров. Сущность метода заключается в напылении расплавленных частиц порошка (сталь, нихром, алюминий) на поверхность цилиндра с помощью плазматрона, затем хонингование до номинального размера. Толщина наплавленного слоя должна быть 0,2-1,0 мм, шероховатость после хонингования Ra 0,3-0,5 мкм;

– *Засорение каналов систем смазки и охлаждения.* Для восстановления применяют механическую и химическую очистку (промывку). Сущность метода заключается в удалении отложений и накипи с помощью щеток, а затем циркуляционной промывки активными химическими составами (кислотными или щелочными). Контроль качества заключается в полной проходимости каналов (проливка водой под давлением 0,3 Мпа). После кислотной промывки – обязательная нейтрализация и сушка горячим воздухом (80-100 градусов Цельсия).

Контроль технического состояния и своевременное восстановление блока цилиндров дизельного двигателя являются обязательными элементами системы обеспечения надежности и экономической эффективности эксплуатации дизельной техники. Игнорирование накопленных дефектов приводит к аварийным ситуациям и неоправданным финансовым потерям. Следовательно, блок цилиндров дизельного двигателя должен восприниматься не как одноразовый компонент, а как подлежащий восстановлению узел. Эффективное управление его техническим состоянием, основанное на строгом соблюдении регламентов технического обслуживания и применении передовых технологий ремонта, приносит значительную экономическую выгоду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика оценки брака: процесс контроля коренных шеек коленчатых валов в ремонтном производстве / Г. Н. Темасова, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // *Агроинженерия*. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 39-45. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-6-39-45. – EDN KMTPYC.

2. Оценка потерь от несоответствий процесса обслуживания и ремонта техники при послепродажном сервисе / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Г. Н. Темасова [и др.] // *Сельский механизатор*. – 2021. – № 5. – С. 38-40. – DOI 10.47336/0131-7393-2021-5-38-39-40. – EDN MANQGA.

3. Оценка качества услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта / Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова, Ю. Г.

Вергазова [и др.]. – Москва : ООО "Издательство "Спутник+", 2021. – 172 с. – ISBN 978-5-9973-6210-2. – EDN YGESOI.

4. Leonov, O. A. Methodology for assessing external losses of repair enterprises of the agro-industrial complex when implementing a quality management system / O. A. Leonov, G. N. Temasova, E. F. Malykha // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russian Federation, 25 сентября – 04 2020 года. Vol. 1679. – Krasnoyarsk, Russian Federation: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52059. – DOI 10.1088/1742-6596/1679/5/052059. – EDN ZEAZCP.

5. Assessing External Defects at Manufacturing Enterprises / G. I. Bondareva, G. N. Temasova, O. A. Leonov [et al.] // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. 2. – P. 151-154. – DOI 10.3103/S1068798X22020046. – EDN TMKWOZ.

6. Теория и практика оценки рисков процессов контроля на предприятиях технического сервиса / Г. И. Бондарева, Н. Ж. Шкаруба, О. А. Леонов [и др.] // Сельский механизатор. – 2021. – № 11. – С. 29-30. – DOI 10.47336/0131-7393-2021-11-29-30-32. – EDN ZANNKC.

7. Систематизация и расчет затрат на контроль при капитальном ремонте двигателей Заволжского моторного завода / Г. И. Бондарева, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова [и др.] // Мир в эпоху глобализации экономики и правовой сферы: роль биотехнологий и цифровых технологий : сборник научных статей по итогам XII международной научно-практической конференции, Москва, 15–16 декабря 2021 года. Том Часть 1. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2021. – С. 125-128. – EDN EOXEEL.

УДК 004.932.2

Пикуть А.С.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва, Россия*

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ДИПФЕЙКОВ

Современное развитие технологий генеративного искусственного интеллекта привело к бурному росту количества дипфейков. Данное явление создает серьезные этические и правовые вызовы, связанные с доверием к визуальной информации, приватностью и безопасностью личности. В работе рассматриваются подходы геометрического глубокого обучения как перспективное направление для анализа и выявления дипфейков. Особое внимание уделяется трехмерным

представлениям лиц и анализу их топологических и структурных особенностей, позволяющих повысить устойчивость систем детекции к визуальным искажениям и манипуляциям.

Технологии создания дипфейков за крайние годы стали одним из наиболее острых вызовов цифровой эпохи. Алгоритмы генеративных моделей [1], таких как GAN (Generative Adversarial Networks) и Diffusion Models, позволяют синтезировать изображения лиц с фотореалистичной точностью. Такие материалы могут использоваться не только в сфере развлечений, но и для манипуляций общественным мнением, подделки документов, распространения дезинформации или клеветы.

На фоне роста доверия к визуальным данным, подделки, неотличимые от реальности, подрывают основы цифрового общества, а именно способность человека различать подлинное и искусственное. Данная проблема ставит под вопрос не только технические, но и философские, а также правовые аспекты достоверности информации.

Классические методы детекции дипфейков анализируют текстуры, частоты или микродвижения в видеопотоке, что делает их уязвимыми при изменении освещения, ракурса и постобработке.

В отличие от них, геометрическое глубокое обучение (Geometric Deep Learning, GDL) [2] рассматривает данные на неевклидовых структурах, а именно графах, сетках, многообразиях. Лицо человека в таком контексте трактуется как трёхмерная поверхность, обладающая топологией и кривизной, которые несут устойчивые признаки идентичности.

Основные компоненты подхода:

- 3D-реконструкция лица из 2D-изображения с помощью моделей типа 3DDFA [3];
- построение графа ключевых точек (landmarks), описывающего геометрию лица;
- анализ графа с помощью Graph Neural Networks (GNN), Graph Attention Networks (GAT) [4] и Graph Convolutional Networks (GCN) [5];
- выявление аномалий в метриках поверхности: асимметрия, искажения, нарушения пропорций.

Таким образом, геометрическое обучение не просто выявляет артефакты, а оперирует структурой формы, что делает методы более устойчивыми и объяснимыми.

Одним из ключевых вызовов в борьбе с дипфейками является доверие к системам детекции. Если человек не понимает, почему модель приняла то или иное решение, эффективность технологии снижается.

Геометрические методы обладают преимуществом: они позволяют визуализировать искажения и интерпретировать признаки, на основе которых модель принимает решение. Это способствует формированию этической и технической прозрачности.

Более того, обращение к 3D-структурам лица возвращает внимание к онтологическому измерению цифровой идентичности: что делает лицо «реальным» в цифровом пространстве? Геометрия лица становится не просто набором данных, а цифровым отпечатком личности, требующим защиты наравне с биометрией.

Распространение дипфейков поднимает вопросы правового регулирования и ответственности.

Возможность синтезировать реалистичные изображения без согласия человека требует переосмысления:

- границ права на изображение и личную жизнь,
- норм, связанных с цифровым согласием,
- принципов аутентификации медиаконтента.

Геометрические методы могут стать основой для новых стандартов цифровой идентификации, где достоверность изображения подтверждается признаками, уникальными для конкретного человека.

Проблема дипфейков затрагивает основы доверия, идентичности и подлинности в цифровом обществе. Современные методы генерации изображений стирают границы между реальностью и симуляцией, превращая визуальную информацию из доказательства в потенциальный инструмент манипуляции.

В этих условиях применение геометрического глубокого обучения представляет собой шаг к восстановлению утраченного баланса между технологическим прогрессом и этическими принципами. Использование трёхмерных представлений лиц и анализ их структурных свойств позволяет выявлять подделки не по внешнему сходству, а по нарушению геометрии лица. Такой подход способствует повышению устойчивости, интерпретируемости и прозрачности систем искусственного интеллекта.

С этической точки зрения, геометрические методы создают предпосылки для формирования новой культуры цифровой ответственности, где визуальные данные воспринимаются не как бесконтрольный поток изображений, а как носители идентичности, требующие защиты и уважения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никоненко С., Камышин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. - 1-е изд. - СПб.: Питер, 2018. - 480 с.
2. M. Bronstein, J. Bruna, T. Cohen, P. Velickovic. Geometric Deep Learning: Grids, Groups, Graphs, Geodesics, and Gauges. - 1-е изд. - 2021. - 160.
3. Zhu X. et al. Face alignment in full pose range: A 3d total solution //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2017. – Т. 41. – №. 1. – С. 78-92.
4. Veličković, P., Cucurull, G., Casanova, A., Romero, A., Lio, P., & Bengio, Y. (2017). Graph attention networks. arXiv preprint arXiv:1710.10903.
5. Kipf, T. N. (2016). Semi-supervised classification with graph convolutional networks. arXiv preprint arXiv:1609.02907.

УДК 621.791.052

Подберезных А.А.

*Научный руководитель: Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ РУЧНОГО ИНЖИНИРИНГА ПРИЗНАКОВ К СВЁРТОЧНЫМ НЕЙРОННЫМ СЕТЯМ

Качество сварных соединений в трубопроводах, мостовых пролётах и промышленных металлоконструкциях непосредственно связано с эксплуатационной надёжностью и безопасностью объектов. Радиографический, ультразвуковой и визуальный контроль обеспечивают выявление дефектов, однако результаты анализа остаются зависимыми от квалификации специалиста, качества изображения и трудоёмкости экспертной интерпретации [1]. В связи с этим возрастает роль алгоритмов машинного обучения, позволяющих автоматизировать классификацию и локализацию дефектных областей.

Типовые радиографические признаки дефектов сварных соединений представлены на рис. 1. К таким дефектам относятся поры, трещины, непровар, включения и нарушения формы шва; именно эти категории чаще всего используются при построении обучающих выборок и оценке алгоритмов технического зрения [2, 3].

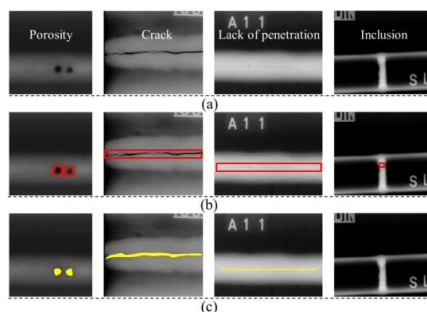


Рис. 1. Примеры дефектов сварных соединений на радиографических изображениях [1]

Методологически работа представляет собой нарративный обзор публикаций 2015–2026 гг., посвящённых автоматизированной классификации и обнаружению дефектов сварки. При анализе учитывались используемые алгоритмы, типы данных, наборы дефектов, метрики качества, требования к вычислительным ресурсам и ограничения переноса моделей в реальные производственные условия.

Классические алгоритмы машинного обучения. Ранние системы автоматизированного контроля строились по двухступенчатой схеме: сначала выполнялось ручное извлечение признаков (GLCM, LBP, HOG, признаки формы, вейвлет-преобразования), затем проводилась классификация с использованием SVM, Random Forest, k-NN или ансамблевых методов [2, 4, 5]. Достоинство такого подхода состоит в возможности работы с ограниченными выборками и относительной прозрачности результата. Основной недостаток связан с зависимостью от экспертной настройки признаков: при изменении материала, типа шва, режима сварки или оборудования обобщающая способность моделей может снижаться.

Переход к свёрточным нейронным сетям. Распространение CNN изменило методологию анализа изображений сварных соединений. В отличие от традиционных алгоритмов, нейронные сети обучаются end-to-end и автоматически формируют иерархические признаки: от простых границ и перепадов яркости до контуров трещин, пор и областей непровара [3, 6, 7]. В публикациях для CNN указываются высокие значения ассурасы, F1-score или mAP, однако прямое сопоставление результатов возможно только при одинаковых данных, независимой тестовой выборке и едином протоколе валидации.

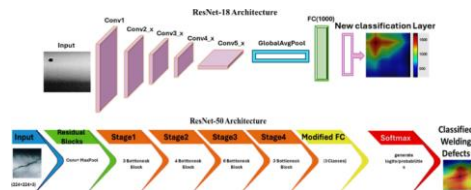


Рис. 2. Архитектуры ResNet для классификации дефектов и визуализация Grad-CAM [6]

Сравнительные особенности традиционных методов и CNN обобщены в таблице 1. Диапазоны точности следует рассматривать как литературные ориентиры, поскольку они зависят от объёма и баланса выборки, качества разметки, способа аугментации и выбранной метрики.

Таблица 1 - Сравнение традиционных ML и CNN

Критерий	Традиционные ML	CNN
Признаки	Ручные дескрипторы: GLCM, LBP, HOG, вейвлеты	Автоматическое извлечение иерархических признаков
Данные	Эффективны при 100- 1000 изображениях; важна экспертная настройка	Требуют больших и репрезентативных выборок, аугментации и transfer learning
Качество	Ориентировочно 82-94% [4, 5]	Ориентировочно 92-99% [1, 3, 6, 7, 8]
Ограничения	Зависимость от признаков и условий съёмки	Вычислительная сложность, дисбаланс классов, необходимость XAI

Открытые датасеты и воспроизводимость. Развитие алгоритмов определяется доступностью размеченных данных. Специализированный GDxray содержит радиографические изображения для неразрушающего контроля, RIAWELC используется для обучения моделей на рентгенограммах сварных соединений, а MVTec AD является общим промышленным датасетом для обнаружения аномалий и может применяться только как методологический пример [2, 9].

Таблица 2 - Основные наборы данных и ограничения их использования

Датасет	Назначение	Ограничение
GDxGray	Рентгенография сварных соединений	Малый объём; ограниченная вариативность съёмки
RIAWELC	Рентгенограммы дефектов сварки	Нужен контроль баланса классов и тестовой выборки

Сравнительный анализ и вызовы. Классические ML-подходы целесообразны при малом числе размеченных примеров, необходимости быстрой настройки и высокой требовательности к объяснимости результата. CNN предпочтительны при наличии репрезентативной выборки, строгой валидации и достаточных вычислительных ресурсов. Для промышленного внедрения ключевыми остаются четыре проблемы: domain shift при переходе между материалами и оборудованием; дисбаланс классов редких критических дефектов; отсутствие единых протоколов разметки и тестирования; необходимость интерпретации решений с использованием Grad-CAM, LIME и экспертной проверки областей внимания модели [6, 7].

Перспективы развития. Наиболее перспективными направлениями являются few-shot learning для редких дефектов, мультимодальная интеграция радиографического, ультразвукового и термографического контроля, генерация синтетических данных для балансировки классов, а также оптимизация моделей для edge-устройств. Двухэтапные схемы технического зрения и YOLO-подобные детекторы могут использоваться для оперативной локализации областей интереса, однако методологические решения из смежных роботизированных задач [10, 11, 12] и ансамблевые модели глубокого обучения для сварочного контроля [13] требуют отдельной проверки на профильных данных сварочного контроля.

Эволюция автоматизированной диагностики дефектов сварных соединений отражает переход от экспертно-зависимых алгоритмов к data-driven архитектурам. Традиционные методы сохраняют значение при ограниченных данных и требованиях к прозрачности, тогда как CNN обеспечивают более устойчивое извлечение сложных визуальных признаков при условии корректной валидации. Успешное внедрение таких систем должно опираться на баланс точности, интерпретируемости, вычислительной эффективности и соответствия требованиям промышленного неразрушающего контроля.

Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ имени В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Say, D., Zidi, S., Qaisar, S.M., Krichen, M. Automated Categorization of Multiclass Welding Defects Using the X-ray Image Augmentation and Convolutional Neural Network. *Sensors*. - 2023. - V. 23. - No. 14: 6422.
2. Rizzo, V., et al. GDXray: The database of X-ray images for nondestructive testing. *Journal of Nondestructive Evaluation*. - 2015. - V. 34. - No. 3: 21.
3. Transfer Learning with CNN for Classification of Weld Defect. *IEEE Access*. - 2021. - V. 9. - P. 91234-91245.
4. Machine Learning-Based Weld Classification for Quality Monitoring. *MDPI Engineering Proceedings*. - 2024. - V. 59. - No. 1: 241.
5. Machine Learning-Based Welding Defect Recognition Using GLCM Features. *ResearchGate*. - 2026.
6. Deep convolutional neural network for weld defect classification in radiographic images. *Heliyon*. - 2024. - V. 10. - No. 6: e28442.
7. Automatic Detection and Classification of Natural Weld Defects. *Sensors*. - 2024. - V. 24. - No. 23: 7649.
8. Machine Vision-Assisted Welding Defect Detection System with CNN. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. - 2025. - V. 26. - P. 1245-1258.
9. Bergmann, P., et al. MVTec AD - A Comprehensive Real-World Dataset for Unsupervised Anomaly Detection. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. - 2019. - P. 10384-10393.
10. Khalapyan S., Rybak L., Nebolsin V., Semenenko T., Gavrilov, D. Robotic System for Blood Serum Aliquoting Based on a Neural Network Model of Machine Vision. *Machines*. - 2023. - V. 11. - No. 3: 349.
11. Rybak L.A., Cherkasov V.V., Voloshkin A.A. Two Stage Technical Vision Algorithm for Automatic Fruit Picking Based on Neural Networks and Hough Transform. *Proceedings 2025 International Conference on Industrial Engineering Applications and Manufacturing*. - 2025. - P. 737-742.
12. Rybak L.A., Cherkasov V.V., Malyshev D.I., Carbone G. Blood Serum Recognition Method for Robotic Aliquoting Using Different Versions of the YOLO Neural Network. *Advances in Service and Industrial Robotics*. - 2023. - P. 150-157.

13. Ensemble-based deep learning model for welding defect detection. Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2024. – V. 133. – Part B: 108156.

УДК 628.854.2

Попов А.П., Сырцев П.М.

Научный руководитель: Волкова В.Н., канд. техн. наук, доц.

*Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт
(Школа), г. Владивосток, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

В статье рассматривается эволюция фильтровальных пылеулавливающих систем в условиях агрессивных сред промышленных объектов. Проанализированы основные типы пылеулавливающего оборудования — от гравитационных камер до современных электрофильтров и нанофильтрационных мембран. Показана закономерность повышения эффективности очистки при каскадном соединении аппаратов. Рассмотрены перспективные направления: применение металлокомпозитных мембран и алгоритмов адаптивной фильтрации для повышения надёжности систем в химически и термически агрессивных средах.

В процессе эксплуатации промышленное оборудование непрерывно подвергается воздействию агрессивных сред, включающих химические (кислоты, щёлочи, растворители), физические (высокие температуры, давление) и биологические факторы. Их совместное воздействие особенно разрушительно: морская вода инициирует электрохимическую коррозию металлоконструкций, промышленные газы вызывают деградацию фильтрующих материалов, а кислотные дожди ускоряют износ несущих конструкций [1, 2]. Особую опасность представляют промышленные пылегазовые выбросы, содержащие агрессивные компоненты, способные разрушать фильтровальные элементы установок [3]. Для защиты оборудования в таких условиях критически важен правильный выбор и проектирование пылеулавливающих систем.

Эволюция фильтровальных пылеулавливающих систем прошла путь от гравитационных камер с эффективностью очистки около 40–70% (рис. 1) до сложных многоступенчатых систем с эффективностью очистки до 99% [4].

Ключевым этапом стало внедрение циклонов О.М. Мерсе (рис. 1), основанных на использовании центробежной силы для отделения частиц пыли [6]. В XX веке получили широкое развитие скрубберы, рукавные фильтры, а затем и электрофильтры, обеспечивающие улавливание тонкодисперсных фракций [7]. В СССР институт НИИОГАЗ разработал высокоэффективные циклоны типов СК и СДК-ЦН-33, обеспечивающие степень очистки до 90% [8]. В 1980-х годах Дж. Дайсон адаптировал циклонный принцип для бытовой техники, что дало импульс дальнейшему совершенствованию технологий [9].

Современные тенденции включают многоступенчатые системы, интеллектуализацию процессов и применение новых материалов. При последовательной установке нескольких аппаратов (каскадная, или многоступенчатая очистка), применяемой для более полного обеспыливания воздуха, суммарная эффективность очистки определяется по формуле:

$$\varepsilon = [1 - (1 - \varepsilon_1) * (1 - \varepsilon_2) * \dots * (1 - \varepsilon_n)] * 100\% \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ — эффективность очистки каждого из аппаратов, входящих в каскад (в долях единицы)

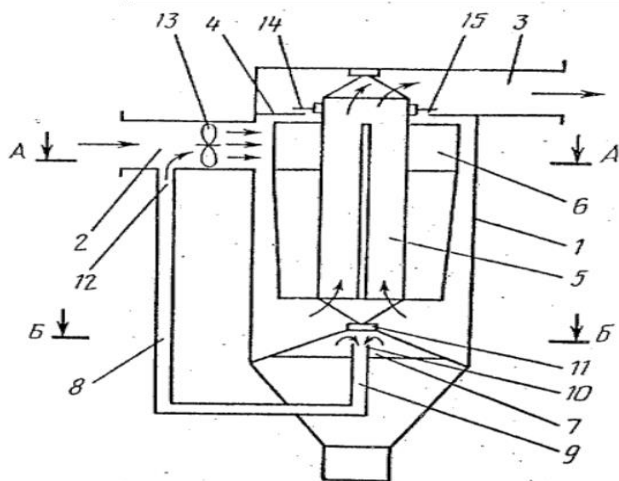


Рис. 1 – Пылеулавливающая система «Циклон» [10], 1 - корпус циклона, 2 - входной патрубок, 3 - выходной патрубок, 4 - спиральный направляющий аппарат (улитка), 5 - внутренняя труба, 6 - сепарационная камера, 7 - конический бункер, 8 - выпускное отверстие бункера, 9 - внутренняя отводящая труба, 10 - осадительная камера, 11 - осадительный патрубок,

12 – возвратная труба, 13 – крыльчатка, 14 - демпфирующая прокладка, 15 – обратный клапан

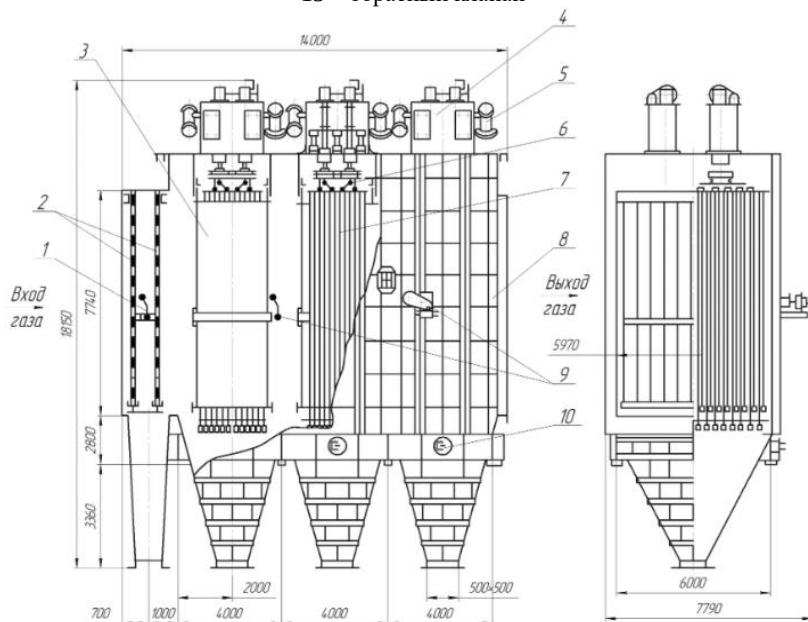


Рис. 2 – Современные пылеулавливающие электрические фильтры [11].

1 - механизм встряхивания газораспределительных решеток, 2 - газораспределительные решетки, 3 - осадительный электрод, 4-изоляционная коробка, 5-защитная коробка для подвода тока, 6 - механизм встряхивания карандирующих электродов, 7- карандирующий электрод, 8 – корпус, 9 - механизм встряхивания осадительных электродов, 10 – люк обслуживания.

Разработаны нанофильтрационные металлокомпозитные мембраны (ВНИИНМ, Росатом), сочетающие высокую прочность, термостойкость и пожаробезопасность, что критически важно для объектов атомной энергетики и аэрокосмической отрасли [12]. Опыт промышленного применения высокоэффективных газоочистных систем, в том числе на предприятиях огнеупорной промышленности, подтверждает их экономическую целесообразность [11]. Алгоритмы адаптивной фильтрации (например, метод Савицкого — Голея) позволяют повысить точность газоанализаторов в условиях агрессивных сред в 3,7 раза [13].

Проведённый анализ демонстрирует последовательную эволюцию пылеулавливающих систем: от примитивных гравитационных

устройств к высокоэффективным многоступенчатым установкам. Установлено, что классические решения недостаточно надёжны в условиях химически и термически агрессивных сред (металлургия, химическая промышленность, энергетика). Применение нанопермационных металлокомпозитных мембран и алгоритмов адаптивной фильтрации является перспективным направлением, обеспечивающим существенное повышение эффективности и долговечности оборудования. Переход к специализированным инновационным системам, адаптированным к конкретным условиям эксплуатации, является объективной необходимостью. Перспективы дальнейших исследований связаны со снижением энергопотребления, увеличением ресурса фильтровальных материалов и оптимизацией баланса между капитальными затратами и экономическим эффектом от соблюдения экологических норм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазуткина, О. Р. Химическое сопротивление и защита от коррозии : учебное пособие для СПО / О. Р. Лазуткина. — Москва : [б. и.], 2024. — 142 с.
2. СТ СЭВ 4419-83. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции строительные. Термины и определения : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден Постоянной комиссией по сотрудничеству в области стандартизации 20.12.83 : введен впервые : дата введения 01.01.85. — Москва : Издательство стандартов, 1984. — 15 с.
3. ОДМ 218.5.006-2010. Рекомендации по методам определения коррозионной агрессивности атмосферы для мостовых сооружений и других конструкций на автомобильных дорогах : отраслевой дорожный методический документ : утвержден Распоряжением Росавтодора от 09.09.2010 № 496-р : дата введения 01.10.2010. — Москва : РОСАВТОДОР, 2010. — 27 с.
4. Battye, W. Characterization of atmospheric dust emissions from industrial sources / W. Battye, V. P. Aneja, P. A. Roelle // *Atmospheric Environment*. — 2003. — Vol. 37, №18. — P. 2513–2522.
5. Чекалов, Л. В. Пылеосадительные камеры. Конструкция и принцип действия / Л. В. Чекалов // *Промышленная экология*. — 2007. — № 4. — С. 34–38.
6. Чекалов, Л. В. Пылеулавливающие устройства / Л. В. Чекалов // *Кондор-Эко* : [сайт]. — 2008. — URL: gazoochistca.ru (дата обращения: 21.03.2026).

7. Патент № 956020 A1 СССР, МПК B01D 50/00. Пылеулавливающая установка : № 3249926/22-26 : заявл. 12.02.81 : опубл. 07.09.82 / Л. И. Кропп, Л. П. Яновский. — 3 с.

8. Фадин, Ю. М. Возвратно-поточные циклоны. Истоки возникновения и направления совершенствования / Ю. М. Фадин [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2017. — № 5. — С. 104–109. — DOI: 10.12737/article_590878fb4a9c99.71247127.

9. Пылегазоочистка — современные технологии фильтрации промышленных выбросов // ASPEX : [сайт]. — 2025. — 16 сент. — URL: asrex.ru (дата обращения: 21.03.2026).

10. Фадин, Ю. М. Циклоны для улавливания пыли: справочное пособие / Ю. М. Фадин, А. К. Краснов. — Москва : Машиностроение, 2012. — 184 с.

11. Группа Магнезит ввела в действие седьмую высокоэффективную газоочистную систему // Группа Магнезит : [сайт]. — 2013. — 14 авг. — URL: magnezit.ru (дата обращения: 21.03.2026).

12. Томские ученые разработали технологию более точного определения опасных газов в атмосфере // Минобрнауки России : [сайт]. — 2024. — 26 янв. — URL: minobrnauki.gov.ru (дата обращения: 21.03.2026).

13. Savitzky, A. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures / A. Savitzky, M. J. E. Golay // Analytical Chemistry. — 1964. — Vol. 36, № 8. — P. 1627–1639.

УДК 621.039.5

Пузанова В. В., Мельтешинова Д. Д., Семенихина М. А.
Научный руководитель: Матюхин П. В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТАРЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЯДЕРНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ.

В современных условиях развития мировой энергетики вопросы обеспечения долговечности и надежности оборудования ядерно-энергетических объектов выдвигаются на первый план. Ядерно-энергетические объекты, например атомные электростанции — это самый сложный инженерный комплекс необходимых систем, устройств, оборудования, сооружений, нормативный срок эксплуатации которых

изначально закладывался в пределах 30-40 лет. Однако, по достижении установленного в проектной документации нормативного срока службы проводится оценка технического состояния оборудования, на основании которой принимается либо решение о прекращении эксплуатации, либо определяется возможность продления срока службы электростанции. Проблема «старения» оборудования является весомым аргументом для принятия таких решений. Под старением понимается не только физический износ, но и постепенное снижение способности систем выполнять свои функции в соответствии с жесткими критериями безопасности. Методы прогнозирования и предотвращения этих процессов позволяет значительно увеличить жизненный цикл ядерно-энергетического объекта [1].

Для построения эффективной системы предотвращения старения детально уделяют внимание физико-химическим процессам, протекающим на ядерно-энергетическом объекте. Рассматриваются вопросы радиационного воздействия и микроструктурных изменений (постоянная бомбардировка быстрыми нейтронами приводит к явлению радиационного распухания и охрупчивания; на атомарном уровне происходит смещение узлов кристаллической решетки, что макроскопически выражается в снижении пластичности сталей, что то критически важно для корпуса реактора, который является незаменимым компонентом); вопросы термической и коррозионной усталости в агрессивных средах (имеется оборудование, которое находится в контакте с теплоносителем под высоким давлением, а сочетание циклов нагрева и охлаждения в комплексе с химическим воздействием приводит к образованию микроскопических дефектов, которые при определенных условиях могут перерасти в трещины); вопросы эрозионно-коррозионных процессов (в оборудовании, где скорости движения пара и воды достигают высоких значений, происходит механическое вымывание защитных оксидных пленок, в связи с этим требуется организация мониторинга толщины стенок трубопроводов для исключения риска их разрывов) [2, 3].

Современная наука предлагает инновационные методы прогнозирования и мониторинга, а именно переход к цифровому мониторингу, который базируется на нескольких ключевых позициях: цифровые двойники (создание виртуальной копии реального агрегата, которая в режиме реального времени получает данные с тысяч датчиков, что позволяет моделировать поведение оборудования в различных гипотетических сценариях и предсказывать точку отказа с точностью до нескольких недель); предиктивная аналитика а базе искусственного интеллекта (использование алгоритмов машинного

обучения с целью сигнализирования о начале процесса деградации заранее, позволяющих выявлять скрытые закономерности, обнаруживать малозаметные характеристики и изменения в составляющих приборной техники, которые затруднительно выявлять зрительно или набором классических приборов контроля, например, такие как изучение спектра вибрации подшипника насоса и пр.); математический аппарат стохастических процессов (к примеру, использование уравнений Фоккера-Планка и Марковских цепей, что позволяет оценить риск отказа всей системы как совокупность вероятностей отказов отдельных узлов). Указанные инновационные методы прогнозирования и мониторинга дают не только возможность своевременно выявить прослабление оборудования, но и обоснованно планировать его ремонт или модернизацию [4, 5].

Предотвращение старения — это не разовое мероприятие, а постоянная, требующая особого внимания и контроля непрерывная технологическая политика. Отдельное внимание уделяется управлению водно-химического режима (к примеру, правильное дозирование используемых реагентов позволяет сформировать на внутренних поверхностях металла пассивирующую пленку, которая блокирует доступ коррозионных агентов, что значительно продлевает жизнь трубопроводам); программам управления старением (представляет собой системный подход с регулярным инспектированием, неразрушающим контролем и заменой компонентов со значительной выработкой ресурса); модернизации систем управления (замена устаревших релейных схем на современные микропроцессорные комплексы, что зачастую решает проблему морального износа составных частей оборудования; установка систем, обладающих встроенными функциями самодиагностики) [3, 6].

В системе прогнозирования и предотвращения старения оборудования на ядерно-энергетических объектах немаловажно придерживаться организационно-нормативных аспектов, так как эффективность и реализация технических методов напрямую придерживается нормативно-правовой базы. К примеру, для атомных станций внедрение таких национальных стандартов, как ГОСТ Р МЭК 62342-2016 «Атомные станции. Контроль и управление, важные для безопасности. Управление старением», создает единую нормативно-правовую базу для всех эксплуатирующих организаций в данной области, приводит стратегии, технические требования и рекомендации по управлению старением систем контроля и управления атомной станции и сопутствующего оборудования, содержит приложения о методах испытаний и технологиях, которые могут использоваться для

проверки надлежащего функционирования оборудования, контроля и управления и нацелен на то, чтобы предотвратить неблагоприятное влияние деградации, вызванной старением, на безопасность, эффективность или надежность атомной станции [7, 8].

Также важным аспектом является подготовка и обучение персонала, способного работать с современными системами диагностики и обрабатывать любого уровня аналитические данные.

Немаловажно также осуществлять контроль за радиационно-защитными материалами, изделиями и конструкциями, которые используются на ядерно-энергетических объектах. В зависимости от их назначения, исполнения и составляющих компонентов (матриц и наполнителей) радиационно-защитные материалы могут также иметь ограниченный срок эксплуатации, после которого вне зависимости от состояния производственного оборудования их необходимо заменить на новые или более современные [9-20].

Таким образом, можно сказать, что прогнозирование и предотвращение старения оборудования на ядерно-энергетических объектах — это целый комплекс мероприятий, включающий в себя новейшие передовые фундаментальные и высокоточные технологии и организационные мероприятия. Инвестиции в глубокую диагностику и обслуживание оборудования на таких объектах являются залогом безопасности и энергетической стабильности. Своевременное выявление деградационных процессов позволяет не только избежать возникновения внештатных ситуаций, но и значительно повысить экономическую эффективность ядерно-энергетического объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поддержание работы мирового парка устаревающих исследовательских реакторов // Бюллетень МАГАТЭ. — 2014. — Т. 55, № 4. — С. 12–14. — URL: iaea.org (дата обращения: 30.04.2026).

2. Пустовгар, А. П. Управление старением бетонных конструкций АЭС / А. П. Пустовгар, В. В. Потапов, А. В. Еремин // Энергетическая политика. — 2023. — №8 (186). — С. 72–81.

3. Потоцкая, К. О. Основные подходы к разработке программы управления старением / К. О. Потоцкая // Наука — образованию, производству, экономике: материалы 20-й Междунар. науч.-техн. конф. — Минск: БНТУ, 2023. — С. 207–208.

4. Демьянов, С. А. Прогноз остаточного ресурса электротехнического оборудования АЭС / С. А. Демьянов, С. А. Кораблев, В. К. Семенов // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : материалы

междунар. науч.-практ. конф. — Екатеринбург : УрФУ, 2018. — С. 813–815.

5. Гусев, П. Ю. Анализ возможностей предиктивной аналитики при прогнозировании состояния оборудования АЭС / П. Ю. Гусев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2024. — № 3. — С. 103–106.

6. Галанин, А. В. Применение ингибиторов для предотвращения солеотложений в системах охлаждения АЭС / А. В. Галанин, Н. В. Карандеева, С. Ю. Васильева // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2025. — № 1. — С. 96–109.

7. Гиря, М. П. Прогнозирование остаточного ресурса электрооборудования АЭС / М. П. Гиря // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2010. — № 6 (76). — С. 25–28.

8. ГОСТ Р МЭК 62342-2016. Атомные станции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Управление старением. — М.: Стандартинформ, 2016. — 31 с.

9. Воздействие электронного излучения на радиационно-защитные железосодержащие материалы / П. В. Матюхин, З. В. Павленко, А. В. Карнаухов, Н. И. Черкашина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 12-6. — С. 970-973.

10. Матюхин, П. В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов / П. В. Матюхин, А. В. Ястребинская, З. В. Павленко // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 9-3. — С. 507-510.

11. Матюхин, П. В. Нанотрубчатые наполнители радиационно-защитных композиционных материалов / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 6-1(25). — С. 59-60.

12. Matyukhin, P. Studies of Structural Changes in Surface and Deep Layers in Magnetite Crystals After High Pressure Pressing / P. Matyukhin // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) : Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, Belgorod, 23–27 сентября 2019 года. — Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2019. — P. 239-243.

13. Матюхин, П. В. Радиационно-защитный конструкционный композиционный материал / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. — 2014. — № 9(28). — С. 40-41.

14. Павленко, В. И. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов / В. И. Павленко, П. В. Матюхин // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 22-25.

15. Матюхин, П. В. Неорганический радиационно-защитный металлокомпозиционный материал строительного назначения / П. В. Матюхин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 9(585). – С. 35-39.

16. Матюхин, П. В. Термостойкие полимерные композиты для нейтронной и гамма-защиты / П. В. Матюхин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 9(28). – С. 39-40.

17. Матюхин, П. В. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1-1. – С. 148-152.

18. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железоксидными композитами / В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Д. В. Воронов // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51, № 11. – С. 66-71.

19. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Ю. М. Бондаренко, П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 120.

20. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

УДК 004.89

Пьянзина М.А., Кухта С.С.

*Научный руководитель: Горбунова А.Д., канд. техн. наук, доц.
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

С развитием больших языковых моделей (LLM) стало понятно, что одного длинного промпта часто недостаточно для решения сложных задач. У таких моделей есть ограничения по объёму контекста, они могут ошибаться в длинных рассуждениях и плохо запоминают

информацию между запросами. Поэтому всё чаще начали использовать сети ИИ-агентов – системы, где задача делится на несколько частей, а каждую часть выполняет отдельный агент со своей ролью и набором инструментов [1].

Такие агенты могут обмениваться результатами, проверять ответы друг друга и менять план действий без участия человека [2]. Сейчас эта технология уже используется не только в исследованиях, но и в реальных рабочих процессах. Существуют специальные фреймворки, которые позволяют объединять десятки агентов в одну систему и подключать их к базам данных, API, поиску или средам выполнения кода.

При этом главные проблемы связаны не столько с качеством самих моделей, сколько с организацией работы между агентами. Например, важно контролировать, чтобы система не начинала повторять собственные ошибки, не тратила слишком много вычислительных ресурсов и не получала опасный доступ к инструментам или данным.

Базовый ИИ-агент обычно состоит из четырёх частей. Первая – это сама языковая модель. Вторая – память: краткосрочная хранится внутри текущего контекста, а долгосрочная может находиться во внешних базах данных. Третья часть – инструменты, например API, поиск, калькуляторы или выполнение кода. Последняя часть – планировщик, который помогает разбивать задачу на этапы и выбирать способ решения [3].

Когда несколько агентов объединяются в сеть, между ними появляется система маршрутизации. Она определяет, какой агент получает следующую задачу и в каком формате передаётся информация.

Существует несколько основных типов таких архитектур.

Первый вариант – последовательные пайплайны. В них результат передаётся от одного агента к другому по цепочке. Такой подход проще отлаживать, но ошибка одного агента может повлиять на все последующие этапы [4].

Второй вариант – иерархическая схема. Здесь есть управляющий агент, который распределяет задачи между остальными и принимает итоговое решение. Такой подход даёт больше контроля, но при большой нагрузке координатор может стать слабым местом системы.

Третий вариант – сетевые или графовые архитектуры. Они используются, например, во фреймворках LangGraph и AutoGen [5]. В таких системах агенты взаимодействуют более свободно: могут возвращаться к предыдущим этапам, запускать параллельные проверки или запрашивать уточнения у человека.

Обычно агенты обмениваются структурированными сообщениями – JSON или шаблонами промптов. Во многих системах используется механизм рефлексии: один агент выполняет задачу, а другой проверяет результат и даёт обратную связь. После этого цикл может повторяться несколько раз, пока качество ответа не станет приемлемым.

Для хранения информации используется общая память или внешние векторные базы данных. Это помогает агентам помнить предыдущие результаты и не выполнять одинаковые действия повторно. Но на практике управление состоянием такой сети оказывается сложной задачей, особенно если агенты работают параллельно, отвечают с задержкой или вообще не возвращают корректный результат.

Наиболее полезными сети ИИ-агентов оказываются в задачах, где одновременно нужно работать с текстом, кодом, внешними сервисами и проверкой результатов.

Один из самых популярных примеров – разработка программного обеспечения. В таких системах один агент может писать код, второй – создавать тесты, а третий – запускать их и возвращать ошибки для исправления. В некоторых компаниях подобные решения уже помогают ускорять разработку и уменьшать количество багов за счёт дополнительной автоматической проверки [4].

Ещё одна область применения – исследовательские и аналитические задачи. Агенты могут искать статьи, собирать информацию, делать краткие выводы и сравнивать разные подходы. При хорошей настройке система не просто копирует текст из источников, а пытается находить противоречия и формулировать собственные выводы. Это особенно важно в сферах, где нужно быстро обрабатывать большие объёмы информации, например в финансах, фармацевтике или консалтинге.

Также сети агентов начинают использоваться в клиентской поддержке и автоматизации рабочих процессов. Вместо одного чат-бота применяется несколько агентов с разными задачами. Один определяет тип запроса, второй получает данные из CRM, третий формирует ответ или запускает нужный сценарий, а четвёртый сохраняет информацию для дальнейшего обучения системы. Такой подход удобнее классических RPA-систем, потому что агенты лучше справляются с нестандартными запросами и могут передавать сложные случаи человеку вместе с уже собранным контекстом.

На практике эффективность таких систем зависит не только от мощности моделей. Большую роль играют качество инструкций, распределение ролей между агентами и наличие резервных сценариев

на случай ошибок. Если эти элементы настроены плохо, даже сильная модель начинает работать нестабильно.

Главной технической проблемой пока остаются стоимость вычислений и задержки. Каждый запрос к языковой модели требует ресурсов, а в многоагентных системах количество запросов быстро растёт, особенно если используются параллельные проверки и повторные циклы анализа. Кроме того, длинный контекст ограничен размером окна модели, а обращение к внешней памяти добавляет дополнительное время ожидания.

Отдельная проблема – распространение ошибок внутри сети. Даже если используется агент-критик, неверный вывод одного участника системы всё равно может повлиять на последующие решения.

Сложности возникают и с безопасностью. Если агент получает доступ к выполнению кода, базам данных или внешним API, появляется риск утечки информации или выполнения нежелательных действий [6].

Сейчас развитие этой области связано в первую очередь со стандартизацией и созданием специализированных моделей. Появляются открытые протоколы взаимодействия между агентами, например A2A (Agent-to-Agent), которые должны упростить обмен задачами между системами разных разработчиков [7].

Одновременно растёт интерес к небольшим моделям, обученным под конкретные роли. Такие модели дешевле в использовании и часто работают стабильнее, чем универсальные большие LLM.

Также отрасли пока не хватает общих способов оценки эффективности агентных систем. Сейчас обычно сравнивают качество отдельных ответов, но этого недостаточно. Важно учитывать стоимость вычислений, скорость работы, устойчивость к ошибкам и безопасность системы в целом.

Сети ИИ-агентов постепенно меняют подход к использованию языковых моделей. Вместо одного универсального помощника всё чаще применяется система из нескольких специализированных агентов, которые распределяют задачи между собой и проверяют результаты друг друга.

Практическая польза таких систем уже заметна в разработке программного обеспечения, аналитике и автоматизации рабочих процессов. Они помогают ускорять выполнение задач и уменьшать нагрузку на специалистов.

При этом для полноценного внедрения таких решений требуются стандарты безопасности, общие протоколы взаимодействия и более надёжные методы оценки качества. Скорее всего, в ближайшие годы мультиагентные системы будут использоваться всё шире, но их

эффективность будет зависеть не только от мощности моделей, а от того, насколько грамотно построена сама архитектура системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Все больше компаний выбирают мультиагентные системы [Электронный ресурс] // COMNEWS. — URL: <https://www.comnews.ru> (дата обращения: 5.05.2026).
2. Wu Q. AutoGen: Enabling Next-Gen LLM Applications via Multi-Agent Conversation / Q. Wu, G. Bansal, J. Zhang и др. // arXiv.org. — 2023. — URL: <https://arxiv.org> (дата обращения: 5.05.2026).
3. Что такое AI-агент и из каких основных частей он состоит [Электронный ресурс] // Хабр. — URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 7.05.2026).
4. Когда одного агента мало: практический кейс применения мультиагентной системы [Электронный ресурс] // Хабр. — URL: <https://habr.com> (дата обращения: 7.05.2026).
5. LangChain Docs. Workflows and agents [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.langchain.com> (дата обращения: 8.05.2026).
6. ИИ Агенты как новая киберугроза: бизнесы теряют деньги и данные, не понимая почему [Электронный ресурс] // Хабр. — URL: <https://habr.com> (дата обращения: 8.05.2026).
7. Singh A. A Survey of Agent Interoperability Protocols: MCP, ACP, A2A and ANP / A. Singh, R. Patel, M. Zhou // arXiv.org. — 2025. — URL: <https://arxiv.org> (дата обращения: 10.05.2026).

УДК 004.9:004.9:658.6

Робенсон Дельва

***Научный руководитель: Гавриловская С.П., канд. экон. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

Современный интернет-магазин традиционно рассматривается либо как программно-аппаратный комплекс (инженерный подход), либо как канал продаж (маркетинговый подход) [1]. Однако для целей глубокого исследования этого феномена в условиях цифровой экономики требуется интегративная методология, рассматривающая интернет-магазин как socio-технический объект, где техническая

инфраструктура и социальные действия пользователей находятся в состоянии взаимной детерминации [2].

Теоретические основания анализа деятельности интернет-магазина как socio-технической системы. Под деятельностью интернет-магазина в широком смысле понимается совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих функционирование электронной торговой площадки: от технического хостинга до постпродажного обслуживания. Анализ такой деятельности требует выделения четырех обязательных уровней: технико-инфраструктурного (серверное ПО, CMS, платежные шлюзы, CDN), процессно-операционного (управление заказами, логистика, возвраты), поведенческого (навигация, воронка конверсии, когнитивная нагрузка пользователя) и экономического (метрики LTV, CAC, ROI, средний чек) [3]. Отличительной чертой socio-технического подхода выступает утверждение, что изменение на любом из этих уровней (например, сбой в работе корзины) немедленно трансформирует социальное поведение покупателя, а изменение потребительских предпочтений (тренд на экологичность) порождает требования к технической доработке платформы.

Методологический аппарат анализа. Для исследования деятельности интернет-магазина как целостного объекта применяется комбинация методов: технический аудит (проверка скорости загрузки, индексации, безопасности транзакций), веб-аналитика (Google Analytics, Яндекс.Метрика, анализ тепловых карт), юзабилити-тестирование с участием реальных пользователей, а также анализ бизнес-показателей через CRM-системы [4]. Ключевым отличием socio-технического анализа является введение качественных процедур: интервью с пользователями для выявления латентных факторов отказа от покупки, наблюдение за сценариями взаимодействия и реконструкция «цифрового следа» как социальной практики. Пример такой многоуровневой схемы анализа приведен на рисунке 1.

Особенности интерпретации результатов. При анализе интернет-магазина как socio-технического объекта исследователь сталкивается с феноменом «черного ящика» алгоритмов (рекомендательные системы, ранжирование товаров) и одновременно с иррациональностью потребительского поведения. Поэтому валидные выводы возможны только при триангуляции данных: сопоставлении метрик веб-аналитики, логов сервера и вербальных отчетов пользователей. Как показывает практика, высокие технические показатели (быстрая загрузка, корректная верстка) не гарантируют конверсию без учета

социального контекста (доверие к платформе, отзывы других покупателей) [5].



Рис. 1. Модель комплексного анализа деятельности интернет-магазина как socio-технического объекта

Таким образом, интернет-магазин не может быть редуцирован ни к чистому коду, ни к потоку транзакций. Он представляет собой динамическую socio-техническую систему, где технологии и люди постоянно переопределяют друг друга. Предложенный подход к анализу деятельности открывает возможность для проектирования более устойчивых, адаптивных и клиентоцентричных электронных торговых площадок. Перспективным направлением дальнейших исследований выступает разработка формальных языков описания socio-технических коллизий в электронной коммерции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидковская М.В. Тренды цифровой трансформации розничной торговли в условиях формирования технологического суверенитета // Экономика и управление. 2023. № 5(187). С. 45–52.
2. Чистяков А.Н., Смирнов К.А. Архитектурные паттерны высоконагруженных e-commerce платформ // Труды института системного программирования РАН. 2022. Т. 34. № 3. С. 143–160.
3. Бакстер К., Кэролайн Ж., Кокейн К. Человеко-центрированный дизайн в цифровой среде. М.: АСТ, 2021. 512 с.

4. Krug S. Don't Make Me Think: A Common Sense Approach to Web Usability. 3rd ed. New Riders, 2014. 216 p.

5. Статистика рынка электронной коммерции в России [Электронный ресурс] // Data Insight. 2024. URL: <https://www.datainsight.ru> (дата обращения: 15.03.2025).

УДК 502.211

Савельева М.А.

Научный руководитель: Ярмош Т. С., доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РОЛЬ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Современные города сталкиваются с ростом населения, загрязнением и дефицитом зелёных зон. Сегодня проектирование жилых территорий направлено на создание единого социокультурного пространства. Важной задачей градостроителей всегда было интегрировать природные участки в городскую структуру [7]. Ландшафтный дизайн играет ключевую роль в создании комфортной, экологичной и красивой городской среды. Водные элементы, такие как реки, озёра и фонтаны, не только украшают города, но и решают важные экологические и социальные проблемы [3].

Водоемы привлекают динамикой, отражением и разнообразием форм и звуков, гармонично сочетаясь с городским шумом [1]. Крупные водоёмы часто становятся центрами планировочной структуры — их открытые пространства контрастируют с плотной застройкой, создавая ощущение простора и свободы. Вода смягчает эффект «теплого острова»: высокая теплоёмкость снижает температуру воздуха и повышает влажность, а испарение очищает от пыли [2]. Водоёмы важны для биоразнообразия, очистки сточных вод, регулирования стока, защиты от наводнений и засух. Растения и биоинженерные технологии улучшают качество воды. Они создают условия для отдыха, включая набережные и пляжи для плавания, рыбалки, катания на лодках и коньках. Они также укрепляют социальные связи через проведение фестивалей и ярмарок. Кроме того, водоёмы важны для экологических исследований, повышают туристическую и инвестиционную привлекательность города [5,6].

Яркий пример — Белгород: две его водные артерии — Северский Донец и Везёлка — активно используются для формирования уникального ландшафтного облика города, объединяя эстетику,

экологию и комфорт городской жизни [4]. Ниже представлена таблица сравнения ключевых водных объектов Белгорода по площади, расположению, инфраструктуре, рекреационным возможностям и транспортной доступности. Таблица помогает оценить их роль в водно-зелёном каркасе города и наметить перспективы развития прибрежных зон.

Таблица 1. Сравнительный анализ водных объектов города Белгорода.

Водный объект	Тип объекта и его расположение	Площадь, протяжённость	Инфраструктура и оборудование	Ландшафтный дизайн и благоустройство	Особенности и уникальные черты	Доступность и транспортная развязка
Набережная реки Везёлка	Набережная. От Кашарского моста до Левобережной улицы через парк Победы до «Академии тенниса»	Протяжённость около 3 км; площадь благоустройства — 133 тыс. м ²	Детские спортивные площадки. Амфитеатр и экран. Террасы у воды. Площадка для выгула собак. Кабинки, туалеты и кафе. Скоростные домики для птиц.	Многоуровневое зонирование Зелёные насаждения (деревья, кустарники) Цветочные клумбы Декоративное освещение Газонное покрытие Мощёные дорожки	Интеграция с парком Победы Экологический акцент (поддержка городской фауны) Мультифункциональность зон Проведение мероприятий в амфитеатре	Остановка «Парк Победы» (7 мин.) Пешая доступность из центра (8 мин.) Велосипедные дорожки Парковка
Набережная реки Северский Донец (парк «Берега»)	Набережная с пляжем. Левый берег реки, ул. Корочанская	Площадь пляжа — 7,4 тыс. м ² ; общая зона благоустройства — более 20 га	Пляж с белым песком Сухой светодиодный фонтан Волейбольные площадки Теннисные корты Воркаут-зоны Пункт проката водного инвентаря (сапборды, вейкборды) Футбол Детские площадки с резиновым покрытием Раздевалки и душевые	Ландшафтное озеленение Альпийские горки Многоуровневые террасы Светодиодное освещение Модульные цветники Искусственные водоёмы Насыпной песок на пляже	Крупнейший благоустроенный пляж города Инновационное освещение (светодиодный фонтан) Акцент на активный отдых Планируется кольцевой маршрут с мостом между берегами	Остановка «Корочанская улица» (7 мин.) Удобный подъезд на автомобиле Велосипедные дорожки вдоль набережной Парковочные места у входа

Пляж «Левобережный»	Пляж. В центре города, за учебно-спортивным комплексом Светланы Хоркиной, ул. Левобережная	Площадь около 5 тыс. м ²	Шезлонги Деревянные зонтик Раздевалки Туалетные кабины Спасательный пост купальный сезон Детская зона на мелководье	Песчаный берег Газонные участки тенистыми деревьями Деревянные настилы Минималистичное освещение Контейнерные площадки для мусора Цветники у входа	Компактный городской пляж Расположение рядом с крупным спортивным объектом Активный отдых в центре города Спокойная атмосфера	Остановка «Учебно-спортивный комплекс Хоркиной» (17 мин.) Пешая доступность от центра (20 мин.) Парковка Велосипедная дорожка

Водные объекты Белгорода образуют единую систему благоустроенных рекреационных зон в рамках водно-зелёного каркаса города. Краткий итог по водным объектам Белгорода:

1. Набережная Везёлки (Рис.1):

- Многофункциональная зона с экологическим акцентом.
- Плюсы: инфраструктура (детские и спортивные площадки, амфитеатр, кафе), интеграция с парком Победы, удобная транспортная доступность.
- Минусы: нет пляжа, возможны шум и скопление людей в вечернее время.



Рис. 1 Набережная реки Везелка, парк Победа.

2. Набережная Северского Донца (Рис.2):

- Крупнейший пляж города (более 20 га), белый песок, светодиодный фонтан.
- Плюсы: широкий набор активностей (волейбол, теннис, прокат сапбордов), раздевалки, душевые, спасательный пост.
- Минусы: многолюдно в пик сезона, платная аренда инвентаря, мало тени.



Рис.2 Набережная Северского Донца. Парк «Берега».

3. Пляж «Левобережный» (Рис.3):

- Компактный городской пляж в центре, рядом со спорткомплексом.

- Плюсы: мелководье для детей, шезлонги, раздевалки, спасательный пост, песчаный берег.

- Минусы: маленькая площадь, ограниченная парковка, минимальный набор услуг.



Рис.3 Пляж «Левобережный».

Общий вывод:

Везелка – идеальное место для прогулок и отдыха с семьей.

Парк «Берега» – подходящий для активного пляжного отдыха, но удалён от центра и переполнен в сезон.

Левобережный – удобен для быстрого купания в центре, но очень компактен и скромно оснащён.

В Белгороде активно восстанавливают водные ресурсы. Чистят берега Северского Донца, сажают деревья и создают природные фильтры. Всё это улучшает качество воды, поддерживает разнообразие флоры и фауны и укрепляет экологическую стабильность.

Водоёмы играют важную роль в городах, улучшая микроклимат, эстетику и экологическую устойчивость. Они смягчают эффект «городского теплового острова», создают комфортные условия для жизни и отдыха. Развитие инфраструктуры, такой как прогулочные маршруты, усиливает эти преимущества. Пример Белгорода показывает, как грамотное использование водных объектов повышает качество жизни и экологическую стабильность. Вовлечение горожан поможет раскрыть весь потенциал водных ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдул Р.А., Джамил Н.С.Д. Влияние водных объектов на архитектуру и городскую среду // Вестник искусства и образования. 2021. С. 113-122 URL: <https://elibrary.ru>

2. Дятлова Е.В., Матвиевская Д.А. Влияние гидрологических особенностей местности на проектные решения водных объектов

ландшафтной архитектуры // Сборник трудов всероссийской молодежной научной конференции с международным участием IX Вильямсовские чтения. 2024. С. 520-523.

3. Ивашкина И.В., Радчикова Е.С., Харченко И.А. Роль ландшафтов водных объектов в формировании высокого качества городской среды // I Международная научно-практическая конференция. 2017. С. 105-108.

4. Касенкова А.А. Методы организации пространств прибрежных территорий в г. Белгород // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. 2023. С. 188-193.

5. Максишко Р. Миссия городского университета в развитии города / Р. Максишко. М.: Автор, 2024. Электронная книга.

6. Новикова С.Е. Университеты в социокультурном пространстве города: социологические аспекты: монография / С.Е. Новикова. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС. 2022. С. 141.

7. Ярмош Т. С. Формирование системы озелененных территорий города, как средство улучшения качества жизни городского населения / Т. С. Ярмош, Е. И. Иванилова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2017. - № 12. - С. 109-112.

УДК 697.911

Савенко Г.А.

Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДЫМОВОГО СЛОЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ С СИСТЕМАМИ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В последние годы развитие строительной отрасли сопровождается существенным усложнением объемно-планировочных решений зданий, увеличением этажности и интеграцией различных функциональных зон в единые пространства. В таких условиях обеспечение пожарной безопасности, в частности эффективность работы систем противодымной вентиляции, приобретает критическое значение.

Применяемые расчетные подходы во многом опираются на представления о стационарных или квазистационарных процессах, сформированные в рамках исследований прошлого столетия. Однако, реальное развитие пожара носит ярко выраженный нестационарный характер: изменяются тепловыделение, структура потоков, параметры газовой среды. Это приводит к тому, что фактическое поведение

дымового слоя существенно отличается от расчетного в рассматриваемой стадии развития пожара (максимальная мощность).

Дополнительным фактором является отставание нормативной базы от темпов развития инженерных решений, что приводит к формированию требований, не полностью отражающих реальные условия работы систем на современных объектах. В совокупности это формирует устойчивую проблему корректной оценки состояния дымового слоя при пожаре.

Ключевая особенность рассматриваемой задачи заключается в том, что дымовой слой в помещении при пожаре представляет собой динамическую систему, параметры которой непрерывно изменяются во времени. Его положение определяется сложным взаимодействием процессов тепловыделения, движения газозооудушной смеси и работы систем противодымной вентиляции.

Существующие методики расчета, как правило, рассматривают отдельные параметры - расход удаляемого дыма, температуру, давление - без учета их взаимосвязанного изменения во времени. При этом в реальных условиях наблюдается нелинейное поведение системы: изменение режима работы вентиляции может как стабилизировать дымовой слой, так и привести к его разрушению и перемешиванию с чистым воздухом.

Особенно явно данное противоречие проявляется при взаимодействии вытяжной и приточной противодымной вентиляции. С одной стороны, необходимо обеспечить удаление продуктов горения, с другой - компенсировать удаляемый объем воздуха, что при условии формирования конвективной тепловой колонки является сопутствующим процессом [1]. На практике же баланс этих процессов часто нарушается: избыточная подача воздуха может усилить развитие очага пожара и интенсифицировать турбулентные процессы, тогда как недостаточная - приводит к быстрому снижению высоты дымового слоя и ухудшению условий эвакуации.

Отдельной проблемой является то, что режимы работы вентиляционного оборудования задаются исходя из расчетных параметров, не привязанных к текущей стадии развития пожара. В результате система функционирует в фиксированном режиме, тогда как сам пожар развивается по переменному закону. Это приводит к рассогласованию между фактическим и расчетным воздушным режимом в помещении, что необходимо в первую очередь доказывать натурными испытаниями [2].

По мнению авторов, основная причина указанных противоречий заключается в отсутствии единого подхода к описанию

нестационарного поведения дымового слоя. В существующей практике отсутствует модель, позволяющая связать между собой параметры пожара, характеристики работы вентиляции и положение дымового слоя как функции времени.

В этой связи, перспективным направлением является переход к критериальному описанию процесса, при котором состояние дымового слоя рассматривается как результат совокупного влияния определяющих факторов. Такой подход позволяет учитывать динамику развития пожара и адаптировать расчетные зависимости к изменяющимся условиям. В отличие от традиционных методик, он ориентирован не на фиксированные значения параметров, а на их взаимосвязь и изменение во времени.

Дополнительно важным элементом является использование методов численного моделирования [3], позволяющих учитывать сложные аэродинамические и тепловые процессы [4], включая турбулентность и перемешивание потоков. Это дает возможность более точно описывать поведение дымового слоя и выявлять критические режимы работы систем противодымной вентиляции.

Таким образом, проблема оценки нестационарного дымового слоя при пожаре обусловлена несоответствием между динамической природой процессов горения и применяемыми в настоящее время упрощенными расчетными подходами. Отсутствие учета временной изменчивости параметров приводит к значительным погрешностям при определении условий эвакуации и выборе режимов работы вентиляционных систем.

Решение данной задачи связано с переходом к моделям, учитывающим нестационарность процессов и взаимосвязь ключевых факторов – тепловыделения [5], параметров воздушного потока и работы систем противодымной вентиляции. Разработка и внедрение таких подходов позволит повысить достоверность расчетов и обеспечить более надежное функционирование систем противодымной защиты в современных зданиях.

Преобразованы в геометрические категории защищаемые объемы и помещения (объемные горизонтальные и вертикальные пространства, каналные пространства и смежного перетекания дыма).

Исследованы модели горения с целью выбора подходящих численных решений под наибольшую выборку сходимых результатов (модель Зельдовича, Аррениуса, Магнуссена, Аррениуса-Магнуссена и EDC).

Рассмотрены модели турбулентности и выполняется анализ их влияния на модели горения (RANS, LES, RANS-LES, DNS).

Каждый из представленных факторов оказывает непосредственное влияние на положение дымового слоя при нестационарном развитии очага пожара и авторы ставят перед собой задачу в рамках выполняемого исследования найти наиболее оптимальный способ связи этих параметров в одно ядро процесса, описывающего тот или иной защищаемый объем помещения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамкина, Д.В. Моделирование свободноконвективных течений в системах вентиляции с тепловым побуждением / Д.В. Абрамкина // Вестник дагестанского государственного технического университета. – 2017. - №3. – С.136-145.
2. Савенко, Г.А. Принципы построения алгоритма проведения экспериментального исследования и анализа полученных результатов / Г.А. Савенко – Текст : непосредственный // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2024. – №5. – С 62-65.
3. Елистратова, Ю.В. Численное исследование снижения коэффициента местного сопротивления тройника на разделение потока / Ю.В. Елистратова, И.В. Крюков, Д.С. Гайдаш, В.Ю. Коверина, С.С. Юрьева // Вестник МГСУ. - 2026. - Т. 21. - № 2. - С. 257-268.
4. Шаптала, В.В. Компьютерное моделирование и расчет систем вентиляции рабочих мест и помещений электросварочного производства / В.В. Шаптала, К.И. Логачев, Е.Е. Хукаленко // Безопасность труда в промышленности. - 2021. - № 10. - С. 13-20.
5. Бусахин, А.В. Развитие режима работы системы противодымной вентиляции в межквартирном коридоре / А.В. Бусахин, Г.А. Савенко – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2025. – №3(73). – С 103-114.

Самбольская К.В., Кравцов А.А.

Научный руководитель: Семейкин А.Ю., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОРГАНОВ СЛУХА У РАБОТНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Такие отрасли экономики как металлургическая, горнодобывающая, обрабатывающая характеризуются высокой интенсивностью акустической нагрузки на рабочих местах предприятий, что является причиной необратимых изменений и заболеваний органов слуха. Несмотря на достижение в области гигиены труда и внедрение средств коллективной и индивидуальной защиты, поражение органа слуха у сотрудников промышленных предприятий продолжает регистрироваться с высокой частотой, что обуславливает значительную медицинскую, социальную и общественную значимость проблемы.

Шум на предприятиях, например, по добыче полезных ископаемых, как открытым, так и подземным способом, нередко достигает эквивалентных уровней звука 95 – 110 дБА [1], что значительно превышает предельно допустимые уровни (80 дБА) [2]. Источниками интенсивного акустического воздействия выступают буровые установки, горные комбайны, проходческие щиты, дробильно-сортировочные комплексы, карьерный автотранспорт, а также взрывные работы [3].

Анализ данных гигиенической оценки условий труда свидетельствует, что доля рабочих мест с вредными условиями труда (класс 3.1–3.4) остается высокой, причем ведущим вредным фактором является шум [4]. По данным Роспотребнадзора, в структуре профессиональных заболеваний работников горнодобывающего профиля патологии органа слуха составляют от 30 до 45% в зависимости от региона и типа производства.

Целью настоящего исследования явился анализ уровней, структуры и многолетней динамики профессиональной заболеваемости органов слуха у работников промышленных предприятий горнодобывающей отрасли с определением основных факторов риска и профессиональных групп, подлежащих приоритетному медико-профилактическому сопровождению.

В работе использовались статистические методы анализа на основе официальных данных государственных надзорных органов и ведомств (данные Федеральной службы по труду и занятости, Росстата и Роспотребнадзора).

Анализ данных Роспотребнадзора о профессиональной заболеваемости работников промышленных предприятий по отраслям промышленности наглядно показывает тенденцию к снижению показателей заболеваемости наряду с уменьшением числа объектов, находящихся на контроле данного ведомства [5]. Так, с 2015 по 2024 год количество поднадзорных объектов снизилось на 19,83% и составило в 2024 году 178543 (рисунок 1).

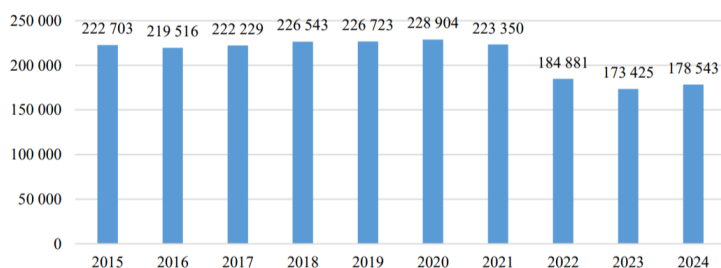


Рис. 1. Число объектов в сфере промышленности и сельского хозяйства, находящихся на контроле Роспотребнадзора за период 2015–2024 гг., абс. [5]

В отчетах Роспотребнадзора также отмечается увеличение числа контрольно-надзорных мероприятий с применением инструментальных и лабораторных методов исследований на 15,7%. По данным Роспотребнадзора и Роструда, в 2024 году доля работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, составила 24,1% [5, 6]. Распределение рабочих мест по видам производственных факторов представлено на рисунке 2.

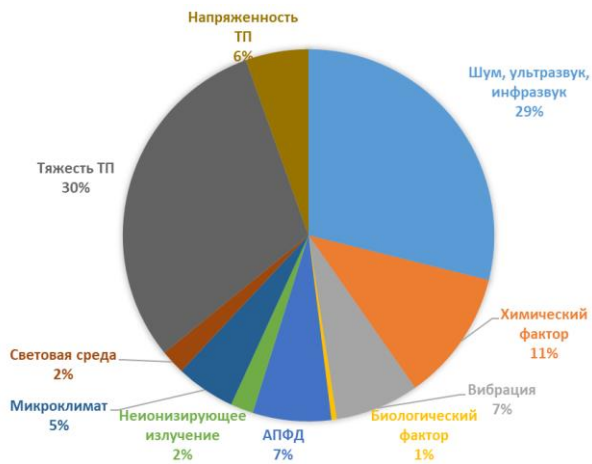


Рис. 2. Распределение рабочих мест по видам вредных и (или) опасных факторов

Статистические данные показывают, что среди вредных производственных факторов на промышленных предприятиях преобладает шум. За период с 2015 по 2024 год число обследованных рабочих мест по фактору «Шум» сократилось в 2,7 раза – с 99 645 до 36 727. При этом доля рабочих мест, не соответствующих гигиеническим нормативам по уровню шума, снизилась лишь в 1,15 раза, что указывает на сохранение высокой актуальности проблемы.



Рис. 3. Динамика обследованных рабочих мест на промышленных предприятиях Российской Федерации по фактору «Шум» за период 2015–2024 гг. [5]

Сведения, опубликованные Роспотребнадзором, указывают на существенные расхождения между фактическими условиями труда и

результатами специальной оценки условий труда. При сопоставлении инструментальных измерений с материалами СОУТ было выявлено, что почти в 30% случаев уровень вредного воздействия на работников оказывался выше официально установленного на один–два класса [5].

Постоянное воздействие интенсивного производственного шума постепенно приводит к развитию нарушений слуха различной степени тяжести. На начальных этапах у работников фиксируются признаки профессиональной нейросенсорной тугоухости, однако при длительном стаже работы заболевание нередко прогрессирует до более тяжелых форм. Подобные изменения ограничивают профессиональную работоспособность, ухудшают коммуникацию и особенно тяжело переносятся сотрудниками старших возрастных групп, занятыми в металлургической, машиностроительной и горнодобывающей промышленности.

Дополнительную проблему создает недостаточная полнота сведений, содержащихся в картах СОУТ. Именно эти документы в большинстве случаев используются при формировании санитарно-гигиенических характеристик условий труда [5]. Отсутствие актуальных измерений и формальный подход к фиксации факторов производственной среды приводят к искажению оценки профессиональных рисков. В результате сокращается число работников, направляемых на обязательные медицинские осмотры, а профессиональные заболевания нередко выявляются уже на поздних стадиях.

Сложившаяся ситуация подтверждает необходимость совершенствования систем защиты от производственного шума [7]. Традиционные методы шумоподавления – акустические экраны, звукопоглощающие панели и защитные кожухи – не всегда обеспечивают достаточную эффективность, особенно при эксплуатации крупногабаритного оборудования, создающего устойчивые низкочастотные колебания.

По этой причине особое значение приобретают современные средства индивидуальной защиты органов слуха. Наиболее перспективными считаются конструкции с селективным принципом действия, позволяющие снижать уровень опасного шума без полной изоляции работника от окружающей среды. Подобные решения сохраняют разборчивость речи и слышимость предупредительных сигналов, что напрямую влияет на уровень производственной безопасности и снижает вероятность травматизма.

Профессиональные заболевания органа слуха продолжают оставаться одной из наиболее распространенных проблем в

промышленности. Высокий уровень шумовой нагрузки, недостаточная точность оценки условий труда и ограниченная эффективность профилактических мероприятий повышают риск развития хронических нарушений слуха у работников. В этих условиях особую значимость приобретает совершенствование инженерных средств защиты, системы медицинского контроля и современных средств индивидуальной защиты органов слуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чеботарёв, А. Г., Курьеров, Н. Н. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий // Горная промышленность. – 2020. – № 1. – С. 148–153.
2. Сюрин С.А., Никанов А.Н. Риски здоровью горняков, занятых на подземных буровзрывных работах на рудниках Кольского полуострова // Российская Арктика. – 2024. – № 6(2). – С. 35–45. <https://doi.org>
3. СанПиН 1.2.3685-2021 «Гигиенические требования к безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания»
4. Чеботарёв А.Г. Специальная оценка условий труда работников горнодобывающих предприятий (Экономика и бизнес): Текст научной статьи/ А.Г. Чеботарёв – Москва: Институт, 2019. – 3
5. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2024 году» <https://www.rospotrebnadzor.ru>
6. Федеральная служба по труду и занятости (Роструд). Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации: отчёт о результатах общероссийского мониторинга условий и охраны труда за 2024 год/ Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) – Москва: 2024. – 112 с
7. Ястребинская А. В. Едаменко А. С. Томаровщенко О. Н. Канивец И. В. Профессиональные заболевания работников горнорудной промышленности, анализ и профилактика // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– 2025.–Т. 14, №2(70). – С. 202-210

МЕТОДИКА СИНТЕЗА И МОДИФИКАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИФфуЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Современные интеллектуальные системы компьютерного зрения в значительной степени зависят от качества и разнообразия обучающих данных. В прикладных областях, таких как авиация, дистанционное зондирование, мониторинг и системы наблюдения, особое значение имеют инфракрасные (ИК) изображения. Однако получение репрезентативных ИК-данных сопряжено с высокими финансовыми и технологическими затратами, а также с ограничениями, связанными с условиями съёмки, секретностью и редкостью наблюдаемых сценариев.

Дополнительной проблемой является наличие дефектов в реальных наборах данных: шумы, пропуски информации, помехи, нежелательные объекты или частично утраченные области. В результате возникает необходимость в методах, способных не только генерировать новые синтетические изображения, но и осмысленно модифицировать и восстанавливать существующие данные, сохраняя их семантическую структуру и визуальный стиль.

В последние годы диффузионные модели стали одним из наиболее эффективных и устойчивых подходов к генерации изображений высокого качества. В отличие от вариационных автокодировщиков и генеративно-состязательных сетей, диффузионные модели демонстрируют стабильность обучения, высокую гибкость условной генерации и отличные визуальные характеристики результата. Это делает их перспективным инструментом для задач синтеза и модификации ИК-изображений.

Целью данной работы является разработка и подробное описание комплексной методики синтеза и модификации фрагментов изображений на основе диффузионных моделей, ориентированной на инфракрасный домен.

Работа опирается на современные архитектуры (Stable Diffusion, FLUX)[1] и методы адаптации фундаментальных моделей (LoRA)[2], а также на использование вспомогательных нейросетевых компонентов для сегментации и геометрического контроля (рис. 1).

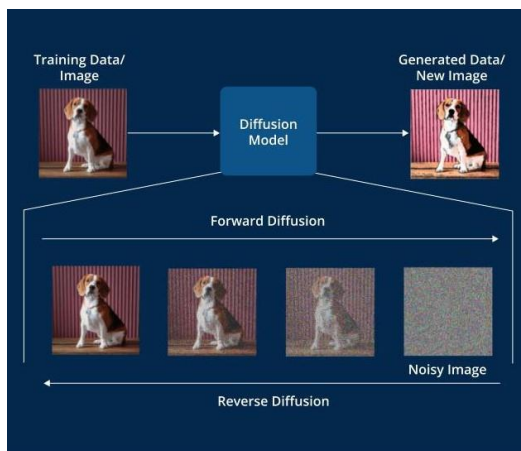


Рис. 1. Типовая схема работы диффузионной модели

Диффузионные модели относятся к классу вероятностных генеративных моделей, основанных на моделировании процесса постепенного разрушения данных шумом и последующего восстановления исходной структуры [3]. Формально модель состоит из двух процессов: прямого (forward diffusion) и обратного (reverse diffusion) [4].

Прямой процесс описывает постепенное добавление гауссовского шума к исходному изображению x_0 :

$$q(x_t | x_{t-1}) = N(x_t; \sqrt{(1-\beta_t)} x_{t-1}, \beta_t I),$$

где β_t — коэффициенты шума, определяющие скорость разрушения информации. После достаточного числа шагов изображение приближается к чистому шуму.

Обратный процесс аппроксимируется нейронной сетью и направлен на поэтапное восстановление изображения:

$$p_\theta(x_{t-1} | x_t) \approx N(x_{t-1}; \mu_\theta(x_t, t), \Sigma_\theta(x_t, t)).$$

Нейросеть обучается предсказывать шум или параметры распределения, что позволяет итеративно восстанавливать данные из случайного начального состояния.

Для практического применения диффузионных моделей на изображениях высокого разрешения используются латентные диффузионные модели (Latent Diffusion Models, LDM). Основная идея заключается в переносе диффузионного процесса из пиксельного пространства в компактное латентное пространство (рис. 2).

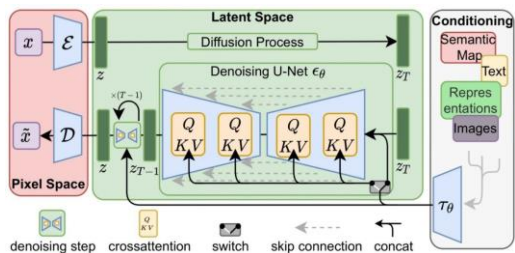


Рис. 2. Структура латентной диффузионной нейронной сети: VAE + U-Net и условный энкодер.

Типовая архитектура латентной диффузионной модели включает следующие компоненты [5]:

- вариационный автокодировщик (VAE), осуществляющий кодирование изображения в латентное пространство и обратное декодирование;
- U-Net архитектуру, выполняющую задачу денойзинга в латентном пространстве;
- условный энкодер (например, CLIP или трансформер), кодирующий текстовые или иные управляющие условия.

Фундаментальные диффузионные модели обучаются на огромных наборах данных и содержат сотни миллионов или миллиарды параметров. Их полное дообучение под узкую задачу является вычислительно неэффективным. Для решения этой проблемы применяются методы лёгкой адаптации, в частности технология Low-Rank Adaptation (LoRA)(рис. 3).

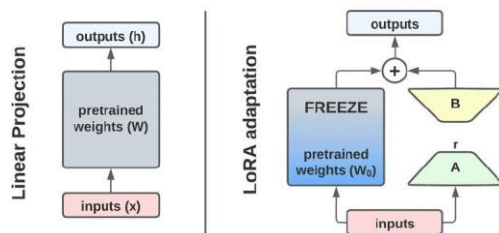


Рис. 3. Иллюстрация низкоранговой адаптации весовых матриц LoRA.

Суть метода заключается в представлении обновления весовой матрицы W в виде низкоранговой поправки:

$$W' = W + \Delta W, \Delta W = B A,$$

где матрицы A и B имеют существенно меньший ранг по сравнению с исходной матрицей весов. В процессе обучения параметры базовой модели остаются замороженными, а обучаются только параметры адаптера.

Преимущества LoRA: резкое сокращение числа обучаемых параметров; снижение требований к вычислительным ресурсам; возможность быстрого переключения и композиции нескольких адаптеров; сохранение обобщающих свойств фундаментальной модели (рис. 4). В рамках данной методики LoRA используется для специализации диффузионной модели под инфракрасный домен.

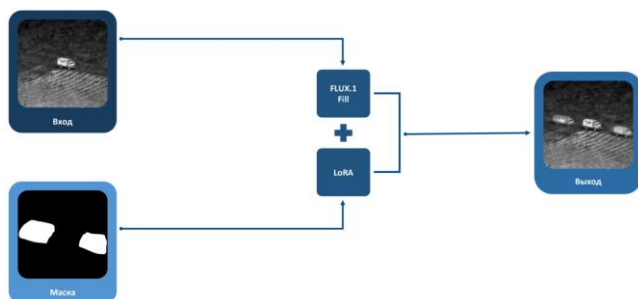


Рис.4. Общая архитектура системы синтеза и модификации изображений FLUX.1, SAM2, DepthAnythingV2, LoRA.

Для оценки эффективности предложенной методики была проведена серия экспериментов. Качественный анализ показал, что использование LoRA-адаптеров позволяет существенно повысить реализм инфракрасных изображений, улучшить передачу характерных текстур и температурных контрастов (рис. 5).



Рис. 5 – Сравнение результатов генерации: базовая модель FLUX.1 и FLUX.1 с LoRA-адаптером.

Количественная оценка проводилась с использованием метрики Fréchet Inception Distance (FID). Базовая модель FLUX.1 продемонстрировала значение FID = 86.561, в то время как модель с дообученным LoRA-адаптером показала улучшенный результат FID = 77.589, что свидетельствует о заметном росте качества генерации.

Такой подход позволяет выполнять локальные изменения, сохранять композицию и стиль сцены, а также решать задачи переноса текстур и стилистических преобразований, включая перевод изображений из видимого диапазона в инфракрасный.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования диффузионных моделей в задачах формирования синтетических обучающих выборок для интеллектуальных систем и создают основу для дальнейших исследований в области управляемой генерации изображений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ho J., Jain A., Abbeel P. Denoising Diffusion Probabilistic Models // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2020.
2. Rombach R. et al. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models // *CVPR*. 2022.
3. Hu E.J. et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models // *ICLR*. 2022.
4. Zhang L. et al. ControlNet: Adding Conditional Control to Text-to-Image Diffusion Models // *ICCV*. 2023.
5. Самодуров, М. А. Синтезирование данных для обучения нейронных сетей / М. А. Самодуров, А. А. Семенов // *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 17–20 апреля 2023 года. Том Часть 5.* – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2023. – С. 47-49. – EDN PPFMOY.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УКРУПНИТЕЛЬНОЙ СБОРКЕ И МОНТАЖУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК В ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Актуальность темы исследования обусловлена масштабным развитием промышленного строительства в Российской Федерации: по данным Минстроя РФ, доля одноэтажных производственных зданий в общем объёме промышленного строительства составляет около 65 %, причём в 80 % случаев в их конструкциях применяются металлические подкрановые балки. При этом укрупнительная сборка и монтаж данных элементов остаются одними из наиболее трудоёмких и ответственных этапов возведения объектов — на их долю приходится до 35 % общих затрат времени и до 25 % стоимости строительно-монтажных работ. Существующие технологии не всегда обеспечивают оптимальное сочетание скорости, точности и экономической эффективности, что порождает потребность в совершенствовании конструктивно-технологических решений.



Рис. 1. Динамика ввода в эксплуатацию промышленных зданий в Российской Федерации

Противоречие между растущими требованиями к срокам и качеству монтажа металлических подкрановых балок в одноэтажных

производственных зданиях и недостаточной проработкой оптимальных схем укрупнительной сборки, учитывающих специфику современных материалов, грузоподъёмной техники и условий строительной площадки являются одним из важнейших вопросов развития конструктивно-технологических решений [1].

Сокращение издержек и сроков производства работ требует совершенствования конструктивно-технологических решений, определяющих эффективность укрупнительной сборки и последующего монтажа подкрановых балок, включая схемы укрупнения, методы строповки, способы выверки и закрепления, а также организацию рабочих потоков.

Предложения по совершенствованию конструктивно-технологических решений по укрупнительной сборке и монтажу металлических подкрановых балок в одноэтажных производственных зданиях [2]:

- использование метода пространственной самофиксации, который позволяет свести к минимуму количество необходимых монтажных приспособлений, сократить расход стали на монтажное оснащение и его стоимость;

- роботизация сборочных процессов, которая позволит упростить процедуру распознавания и автоматическую строповку монтируемого элемента;

- предварительное укрупнение покрытия в крупные блоки на конвейерной линии, которое наиболее эффективно для возведения производственных одноэтажных зданий достаточно большой площади [3];

- организация поточности производства, с помощью которого монтажный процесс нужно расчленить на составляющие и распределить их между исполнителями при обязательном соблюдении производственного ритма и максимального совмещения работ во времени [3].

Практическая значимость состоит в возможности внедрения разработанных рекомендаций в проектно-технологическую документацию, что позволит сократить сроки монтажа и снизить трудоёмкость на 20%, и повысить точность установки конструкций до нормативных требований [4].

Таблица 1. Проблемы и вызовы в области укрупнительной сборки и монтажа

№	Проблема	Причины	Последствия	Подходы к решению
1	Высокая трудоёмкость укрупнительной сборки	Необходимость организации специализированных площадок, ручной контроль сварных соединений, сложность позиционирования тяжёлых элементов	Увеличение сроков строительства, рост себестоимости	Механизация процессов (использование кантователей, гидравлических подъёмников), внедрение роботизированной сварки.
2	Недостаточная точность установки балок	Погрешности при укрупнении, деформация конструкций при подъёме, несовершенство методов выверки	Ускоренный износ крановых путей, снижение безопасности эксплуатации	Применение лазерных систем нивелирования, использование BIM-моделей для предварительного моделирования монтажа.
3	Высокие требования к квалификации персонала	Сложность технологических процессов, необходимость владения современными методами контроля	Дефицит кадров, увеличение сроков обучения	Внедрение VR-тренажёров для отработки навыков, стандартизация операций.
4	Ограниченная применимость укрупнения в стеснённых условиях	Нехватка места для сборочных площадок, ограничения по грузоподъёмности техники	Вынужденный переход на менее эффективные методы монтажа	Модульное проектирование, использование компактных монтажных приспособлений.
5	Риски деформации конструкций при подъёме	Неравномерное распределение нагрузок, ошибки в расчёте строповки	Нарушение геометрии балок, снижение несущей способности	Компьютерное моделирование подъёма, применение специальных траверс.

Для оптимизации трудоёмкости работ и сокращения сроков монтажа необходимо применять комбинированный метод

укрупнительной сборки. Предполагается использование нескольких способов укрупнения и монтажа конструкций в рамках одного проекта. Часть работ выполняется поэлементно, а часть — с применением укрупнительных блоков. Также производится сборка на земле и на высоте, с использованием разных типов оборудования и организационных решений.

В типовой технологической карте на монтаж разрезных стальных подкрановых балок пролётом 12 м под мостовые электрические краны предусмотрено укрупнение балок в блоки в заводских условиях. Укрупнённый блок для крайнего ряда состоит из одной подкрановой балки, тормозного настила и кранового рельса, а для среднего ряда — из двух балок, тормозной фермы и двух рельсов. Монтаж таких блоков выполняется безвыверочным методом с использованием гусеничного крана.

Если условия транспортировки не позволяют доставить полностью собранный блок, его можно укрупнять поэтапно: сначала на земле, затем производить доукрупнение на высоте с использованием временных опор или кондукторов.

При комбинированном методе необходимо использовать сочетание разных типов соединений [5]. В укрупнённом блоке используются болтовые соединения для транспортировки и предварительного монтажа, а окончательная фиксация выполняется сваркой, это обеспечивает более высокую прочность конструкции, что является одним из главных требований для подкрановых балок под мостовые краны [6].

Развитие технологий укрупнительной сборки и монтажа подкрановых балок обусловлено ростом требований к срокам строительства и экономической эффективности проектов. Этому должно способствовать повышение нормативных требований к точности установки подкрановых путей, а также развитие цифровых технологий и автоматизации в строительстве. Для достижения наилучших показателей необходимо снижения влияния человеческого фактора на качество работ путем применения лазерного сканирования и 3D-контроля для выверки положения конструкций в совокупности с созданием цифровых двойников строительных площадок для имитационного моделирования процессов.

Для оптимизации организации работ совершенствованием существующих решений будет стандартизация узлов соединений и расширение базы марок элементов. Так как при индивидуальном изготовлении сварных подкрановых балок и отсутствии унификации

элементов крепления, происходит увеличение сроков проектов из-за длительного проектирования, и в последствии монтажа.

Совершенствование конструктивно–технологические решений по укрупнительной сборке и монтажу подкрановых балок обладают значительным потенциалом. Внедрение цифровых технологий, механизация процессов и оптимизация организации работ позволяют:

- сократить сроки монтажа на 15–20 %;
- снизить трудоёмкость на 10–15 %;
- повысить точность установки до ± 3 мм;
- минимизировать риски деформации конструкций;
- улучшить условия безопасности труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белень Е.И. Металлические конструкции: учебник для вузов — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 2020. — 560 с.

2. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Подкрановые конструкции: учебное пособие / под ред. Ю.П. Скачкова — Пенза: ПГУАС, 2014. — 124 с.

3. Стойчев В.Б., Киргизов А.М. Монтаж каркаса одноэтажного промышленного здания: методические указания — Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. — 30 с.

4. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» (актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87) — М.: Минстрой России, 2012. — 165 с.

5. Солодов, Н. В. Расчетная длина подкрановых ветвей сквозных стальных колонн из плоскости рамы / Н. В. Солодов, Ю. С. Пирьев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2016. — № 3. — С. 13-16. — EDN VNUVMR.

6. Солодов, Н. В. Напряженно-деформированное состояние при реализации смятия и сдвига в болтосварном соединении / Н. В. Солодов, Н. В. Водяхин, В. В. Кочерженко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2022. — № 12. — С. 18-27. — DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-12-18-27. — EDN FDIPMX.

Северюков А.А.

*Научный руководитель: Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОБЗОР АСПЕКТОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Обеспечение безопасного пребывания людей в зданиях и сооружениях, несомненно, является важнейшим требованием, которое должно выполняться на протяжении всего жизненного цикла. Безопасность зданий и сооружений – обширное понятие, включающее в себя множество аспектов, поэтому для ее достижения на каждом этапе создания объекта строительства предпринимается многогранный комплекс мер.

Основным нормативным документом Российской Федерации, устанавливающим требования к безопасности зданий и сооружений, является Федеральный закон №384-ФЗ с одноименным названием [1]. В нем даны наиболее общие указания о необходимости обеспечения пожарной безопасности здания, его доступности для маломобильных групп населения, а также принятия мер по благоустройству территории и созданию всех необходимых условия для комфортного пребывания внутри помещений. В перечень контролируемых параметров входят качество воздуха, воды, степень освещенности, уровень шума, влажности, вибраций и т.п. Важнейшим для конструктора является пункт документа о механической безопасности, т.е. необходимости обеспечения прочности и устойчивости здания в процессе строительства и эксплуатации. Выделен ряд факторов, которые могут нанести вред здоровью или привести к смерти человека:

- разрушение отдельных несущих конструкций или их частей;
- разрушение всего здания или его части;
- возникновение деформаций несущих конструкций или грунтового основания недопустимой величины;
- перемещения строительных конструкций, такие как потеря устойчивости или отклонение от вертикали.

В научных трудах недопущение перечисленных неблагоприятных факторов зачастую относят к понятию «конструктивная безопасность». Например, Перельмутер А.В. в своей монографии говорит о том, что обеспечение конструктивной безопасности заключается в

«предотвращении аварий и обрушений здания или сооружения в целом и составляющих его частей, а также в избежании других серьезных повреждений, которые могут привести к опасности для здоровья и жизни людей, к ущербу для окружающей среды» [2]. Автор отмечает, что данные задачи в целом решаются при расчете конструкций по методу предельных состояний с учетом наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок, которые установлены документами нормативной базы. Однако принципиально невозможно предугадать все варианты незакономерно возникающих неблагоприятных ситуаций, поэтому учет вероятности немаловажен при проектировании. Автор отмечает основной принцип, способствующий повышению живучести зданий: необходимо выбирать конструктивную схему сооружения такой, чтобы в случае неспособности любого элемента нести нагрузку от запроектного воздействия это не приводило бы к полному или значительному разрушению зданий. Этот принцип может быть реализован, например, посредством повышения связности системы. Также рекомендуется не допускать в проекте такие конструкции, которые близки к исчерпанию несущей способности даже при проектных усилиях. Современные нормативные документы также рекомендуют проводить расчет системы с исключением из работы таких конструкций для проверки устойчивости здания или сооружения к прогрессирующему обрушению [3].

В работе В.Д. Райзера также говорится о возможности преднамеренного проектирования зданий различного уровня надежности [4]. Так, для снижения затрат на сооружение следует уменьшить его надежность, при этом, для снижения затрат на его безопасную эксплуатацию, надежность, напротив, нужно повысить. Задача как участников нормотворчества, так и проектировщика в каждом конкретном случае – найти эту «золотую середину», то есть целесообразный уровень надежности. Также в ходе большого количества научных исследований и при непрерывном накоплении практического опыта появляются новые и дорабатываются существующие методы повышения надежности зданий и сооружений, что позволяет решать эту задачу без существенного увеличения затрат и продлить срок службы.

Наиболее сложный и трудоемкий метод защиты зданий – проведение углубленного анализа рисков и выполнение проекта с учетом его результатов. Несмотря на то, что по результатам анализа рисков по-прежнему невозможно установить все источники опасности для здания, такие как грубые ошибки проектирования, аномальные климатические воздействия и т.д., появляется возможность

приблизенно рассчитать вероятность разрушения в ряде проанализированных случаев и определить рациональность тех или иных решений по защите здания с учетом экономических и социальных эффектов [5]. Данный метод в настоящее время широко не распространен, хотя и рекомендуется сводами правил. Однако его применение зачастую обосновано при проектировании сложных в инженерном отношении объектов повышенной ответственности. Дополнительно анализ рисков рекомендуют корректировать в процессе строительства и перед передачей готового объекта заказчику, учитывая при этом возможные ошибки монтажа и изменения, внесенные в рабочий проект. Возможно, расширение области применения анализа рисков в практике проектирования также будет происходить по мере накопления знаний и статистических данных и конкретизации нормативных требований.

Так, например, современными исследователями проводилась оценка конструктивной безопасности длительно эксплуатируемых пространственных оболочек с контролем прогибов и остаточных деформаций, в том числе при моделировании сейсмических нагрузок [6]. По результатам эксперимента были вынесены рекомендации по увеличению пространственной жесткости конструкций введением в систему элементов волнистого или складчатого сечения, которые способны воспринять и передать горизонтальные динамические воздействия. Также проводятся многочисленные исследования в области безопасности эксплуатации существующих зданий, например, об оценке остаточного ресурса конструкций с коррозионными повреждениями [7].

Таким образом, обеспечение конструктивной безопасности зданий и сооружений – актуальная комплексная задача, открывающая широкое поле для исследований. Результаты многолетней работы в этой области позволили выделить некоторые универсальные принципы увеличения надежности и долговечности зданий, но зачастую проектировщики, вынуждены прибегать к использованию методов, требующих дополнительного изучения, или отказываться от изначального проекта из-за невозможности реализовать его с обеспечением требуемого уровня конструктивной безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 25 декабря 2023 года). Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ.

2. А. В. Перельмутер Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций // Издание 3-е, перераб. и доп., Москва, Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2007.

3. "СП 385.1325800.2018. Свод правил. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения" (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 05.07.2018 N 393/пр) (ред. от 22.12.2021)

4. Теория надежности в строительном проектировании: Многография // В.Д. Райзер – М: изд-во АСВ, 1998. 304 с.

5. Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение: учебное пособие / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурун, Е.А. Казакова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 136 с.

6. Раззаков С.Р. Моделирование стадийности строительства, эксплуатации и конструктивной безопасности большепролетных уникальных зданий //Известия КГАСУ. № 4(70). 2024. С. 83-94.

7. Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Прикладной способ прогнозирования коррозионных повреждений и остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с учетом опыта эксплуатации объектов-аналогов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. №2. 2019. С. 49-54.

УДК 614.876.086.5

*Семенихина М.А, Кузьмин Р.Е, Нижнегородцева П.Ю.
Научный руководитель: Матюхин П. В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР

Труд медицинских работников относится к числу социально важных, сложных и ответственных видов деятельности человека. Конечный результат деятельности медицинских работников, здоровье пациентов, во многом определяется условиями труда и состоянием здоровья самих медработников. Из физических факторов, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье медиков, наибольшее значение имеют различные виды ионизирующего и неионизирующего от материалов и оборудования, которые используются в медицинских целях. Наиболее распространенными при проведении рентгенологических процедур являются тормозное и характеристическое рентгеновские излучения. Чаще других под

влияние этих видов излучения попадают рентгенологи, стоматологи, медсестры и технический персонал, работающий с рентгенологическим оборудованием [1].

Тормозным обычно называют электромагнитное излучение, испускаемое заряженной частицей при её рассеянии (торможении) в электрическом поле; рентгеновское излучение (характеристическое) это вид электромагнитных волн высокой энергии с выраженной проникающей способностью [2].

Медицинский персонал по характеру работы с источниками ионизирующего излучения в лечебно-диагностической деятельности делят на две категории: категория А – персонал, постоянно или временно работающий непосредственно с источниками ионизирующих излучений; категория Б – лица, которые по условиям профессиональной деятельности могут подвергаться воздействию источников ионизирующего излучения. В хирургической практике рентгенологическое излучение применяется для контроля эффективности оперативного вмешательства или диагностических целей непосредственно в процессе выполнения операции [1].

Для защиты от различных видов ионизирующего излучения, многими учеными разрабатываются различные виды радиационно-защитных материалов, которые выполняются не только в виде облицовочных материалов, но и в виде конструкционных материалов, которые способны выдерживать большие нагрузки. Такие материалы изготавливаются на различных основах с добавлением различных наполнителей, которые проявляют высокие радиационно-защитные характеристики для необходимых видов излучений [3-17].

Основные пути снижения индивидуальных доз облучения медицинского персонала могут быть достигнуты путем модернизации парка рентгенодиагностической аппаратуры, совершенствованием условий проведения процедур, нормированием объема исследований в зависимости от типа аппаратов и вида проводимых процедур, а также при использовании различных радиационно-защитных материалов на различных основах и конструкций [18].

Наиболее распространенными средствами радиационной защиты от вышеуказанного ионизирующего излучения в медицине являются индивидуальные средства защиты (рентгенозащитная одежда, например свинцовые костюмы и фартуки, которые поглощает довольно высокий процент рентгеновского излучения), защитные очки, рентгенозащитные перчатки, защитные воротники, шапочки, наборы защитных пластин дифференцированной формы (для разных анатомических участков) [18, 19].

Для защиты от излучения помещения процедурных, где проводятся рентгенологические исследования, отделываются специальными рентгенозащитными материалами по всей площади. Применяется баритовая штукатурка для стен или специальные рентгенозащитные гипсовые панели, освинцованные материалы с определенным свинцовым эквивалентом – стекла и металлические листы для защиты дверей и окон [19].

Существуют следующие виды рентгенозащитных материалов: рентгенозащитная штукатурка на основе барита (штукатурка наносится на стены и не допускает проникновение ионизирующего излучения за пределы рентген кабинета); рентгенозащитный ровнитель для пола (предназначен для создания износостойких покрытий полов в рентген кабинетах с целью предотвращения проникновения ионизирующего излучения в соседние помещения); листовой свинец (является распространенным материалом для изготовления рентгенозащитных изделий, в том числе одежды); рентгенозащитное стекло (представляет собой стекло с высоким содержанием оксида свинца); свинцовая резина (резина с добавлением свинца, применяется для изготовления рентгенозащитной одежды, а также для рентгенозащитных штор и мобильных рентгенозащитных ширм); просвинцованный винил (аналог свинцовой резины, но обладает более легким весом, используется для производства рентгенозащитной одежды); рентгенозащитные панели (изготавливаются с наполнением из листового свинца или просвинцованной резины, предотвращают проникновение ионизирующего излучения за пределы рентген кабинета, используются как для отделки стен, так и для отделки каркасных перегородок, пола и потолка) [20].

Использование защитных мер при проведении рентгенологических процедур является необходимой мерой, позволяющей повысить уровень биологической защиты медицинского персонала от ионизирующего излучения при проведении рентгенологических процедур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куренкова, Г.В. Гигиенические особенности трудовой деятельности медицинских работников, контактирующих с источниками ионизирующих излучений. Санитарно-эпидемиологический надзор за радиационными факторами в лечебных учреждениях / Г.В. Куренкова, Е. П. Лемешевская, Е. В. Жукова // Учебное пособие для студентов. Иркутск, ИГМУ. – 2018. – 47 с.

2. Тормозное_излучение [электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 04.05.2026).

3. Патент № 2470395 С2 Российская Федерация, МПК G21F 1/08, H01Q 17/00. композиционный материал для радиационной защиты : № 2010152157/07 : заявл. 20.12.2010 : опубл. 20.12.2012 / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский, Ю. М. Бондаренко ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова".

4. Матюхин, П. В. Электронно-микроскопические исследования магнетитового железорудного концентрата подвергнутого воздействию высоких давлений прессования / П. В. Матюхин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 12. – С. 174-182. – DOI 10.12737/22814.

5. Червоный, М. А. Роль защиты от ионизирующих излучений в сохранении здоровья человека / М. А. Червоный, А. И. Стрельникова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 2346-2350.

6. Matyukhin, P. V. The research of iron containing wastes modification process of leninabad rare metals plant / P. V. Matyukhin, D. I. Mirzoev // Diffusion and Defect Data. Pt A Defect and Diffusion Forum. – 2021. – Vol. 410 DDF. – P. 778-783. – DOI 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.778.

7. Бондарев, С. О. Композиты для защиты от электромагнитного излучения / С. О. Бондарев // 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. 1192-1196.

8. Ястребинский, Р. Н. Использование оксидов тяжелых металлов для синтеза радиационно-защитных материалов / Р. Н. Ястребинский, П. В. Матюхин, Ю. М. Самойлова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-7. – С. 1199-1202.

9. Слепцова, Е. И. Ослабление гамма-излучения веществом / Е. И. Слепцова // 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. 4329-4333.

10.Польшикова, О. В. Компоненты для разработки современных радиационно-защитных композиций / О. В. Польшикова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук : Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 10. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 269-274.

11.Самойлова, Ю. М. Композиционный материал на основе алюминиевого сплава, наполненного высокодисперсными модифицированными оксидами железа и висмута : специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самойлова Юлия Михайловна, 2015. – 153 с.

12.Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / П. В. Матюхин, В. И. Павленко, Р. Н. Ястребинский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. – № 9. – С. 27-29.

13.Матюхин, П. В. Металлобетонный композит на основе модифицированного высокодисперсного оксида железа и металлического алюминия: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Матюхин Павел Владимирович. – Белгород, 2004. – 170 с.

14.Пилавиду, Е. О. Современные альтернативные свинцу материалы для защиты от рентгеновских лучей в области медицины / Е. О. Пилавиду, А. П. Прокопченко, В. В. Солгалов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 261-265.

15. The effect of heat treatment on oxygen content and microstructure of near-surface areas of titanium hydride coated with tungsten carbide / A. I. Gorodov, A. A. Mogutova, P. V. Matyukhin, D. S. Romanyuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – Vol. 2388, No. 1. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012116.

16.Матюхин, П. В. Синтез высокодисперсного наполнителя на основе гематитового концентрата из водных растворов ионов алюминия

для радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / П. В. Матюхин, Ю. М. Бондаренко, В. И. Павленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 3(74). – С. 80-85.

17. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал / Р. Н. Ястребинский, В. А. Дороганов, В. И. Павленко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7-8. – С. 19-22.

18. Сарычаева, С.С. Особенности применения средств радиационной защиты / С.С. Сарычаева // Radiation Hygiene. – Vol. 14 № 4. – С. 76-84.

19. Лучевая безопасность и организация рентгенологического кабинета [электронный ресурс]. URL: <https://krascpk.ru> (дата обращения: 04.05.2026).

20. Из каких материалов изготавливаются рентгенозащитные изделия [электронный ресурс]. URL: <https://рентгенозащита.рф> (дата обращения: 04.05.2026).

УДК 004.912

Серова А.С., Смирнов Д.С.

***Научный руководитель: Смирнов Д.С., канд. экон. наук, доц.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Россия***

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НАИМЕНОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Наименование строительно-монтажной работы (СМР) связывает технологическую операцию с учетно-сметной документацией и требованиями строительного контроля. Для оформления и приемки СМР должна быть соотнесена с классификацией ГОСТ Р 72041–2025 [1]. Для ее интерпретации в системе строительного контроля необходимо учитывать структуру требований СП 543.1325800.2024 [2]. Следовательно, текстовое наименование работы должно классифицироваться в согласованной системе двух нормативных источников.

В исполнительной документации наименование СМР фиксируется как текстовая запись на естественном языке. Регламенты определяют состав и порядок ведения общего журнала работ, но не задают алгоритм сопоставления произвольной формулировки с нормативной категорией [3]. Поскольку нормативные источники различаются по назначению,

уровню детализации и не образуют единого кодового пространства, задача не может быть надежно решена формальным сопоставлением текстовой записи СМР с нормативными наименованиями.

В этих условиях задача рассматривается как классификация вариативного текстового описания в согласованное нормативное пространство. Применение классических методов машинного обучения обосновано необходимостью выявлять устойчивые лексические признаки классов при отсутствии полного совпадения между фактическими и нормативными наименованиями [4]. В работе оценивается качество такой классификации при использовании разреженного текстового представления.

Для экспериментальной оценки был сформирован корпус из 13500 текстовых наименований СМР. Источниками данных служили нормативно-сметные материалы, исполнительная документация и документы, отражающие фактическое описание выполненных строительных работ. Для каждой записи выполнена экспертная разметка по двум нормативным основаниям. Итоговая разметка включала 64 категории по ГОСТ Р 72041–2025, 186 категорий по СП 543.1325800.2024 и 255 совместных нормативных меток.

Частотный анализ нормативной разметки выявил неоднозначность сопоставления категорий ГОСТ Р 72041–2025 и СП 543.1325800.2024, а также неравномерное распределение работ по классам, образованным комбинацией меток двух нормативных источников. Для его частичной компенсации применялась умеренная текстовая аугментация только в обучающей выборке. Полное выравнивание классов не использовалось, чтобы избежать избыточной доли синтетических записей и искажения структуры корпуса.

Целевой объем класса задавался по квартилям распределения. Классы нижнего квартиля расширялись до медианы, классы между первым квартилем и медианой увеличивались до третьего квартиля, а классы выше медианы не изменялись. Аугментация выполнялась внутри одного нормативного класса за счет варьирования языковой формы при сохранении технологического смысла и нормативной принадлежности записи [6]. Кривые Лоренца на Рис. 1 показывают, что аугментация снижает дисбаланс, сохраняя естественную неравномерность корпуса.

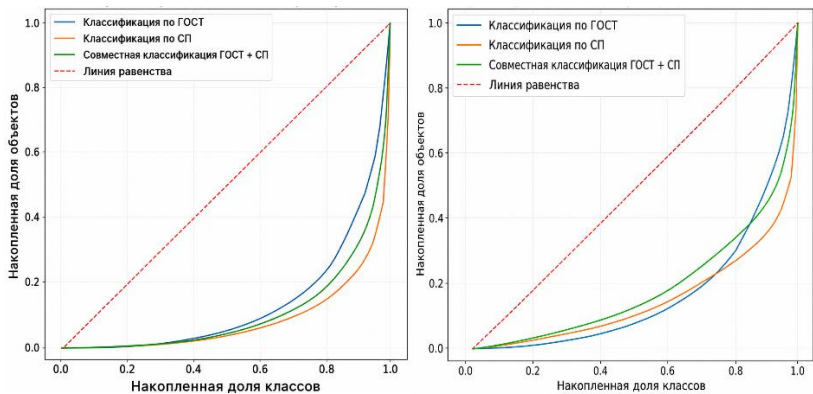


Рис. 1. Кривые Лоренца для нормативных классификаций корпуса:
а — до аугментации; б — после аугментации.

Исходные текстовые записи кодировались с использованием TF-IDF векторизации, формирующей высокоразмерное разреженное признаковое пространство. Для сравнения были выбраны два линейных классификатора, согласованные с разреженным признаковым представлением, и градиентный бустинг как нелинейный метод ансамблевого обучения [5].

Классификация выполнялась по каскадной схеме. Пусть W - множество текстовых наименований СМР, G - множество категорий видов работ по ГОСТ Р 72041–2025, S^* - расширенное множество категорий по СП 543.1325800.2024, включающее специальное значение для отсутствия прямого соответствия. На первом этапе входная запись $w \in W$ преобразуется в прогноз категории вида работ по ГОСТ:

$$\hat{g}(w) = \Phi(w), \quad \hat{g}(w) \in G. \quad (1)$$

На втором этапе категория по СП определяется с учетом исходного текста и результата первого этапа:

$$\hat{s}(w, \hat{g}) = \Omega(w, \hat{g}), \quad \hat{s}(w, \hat{g}) \in S^*. \quad (2)$$

Итоговая классификация задается совместной нормативной меткой:

$$\Phi_{cas}(w) = (\hat{g}(w), \hat{s}(w, \hat{g}(w))), \quad \Phi_{cas}: W \rightarrow G \times S^*. \quad (3)$$

Такая постановка позволяет оценивать качество классификации по категории вида работ ГОСТ, категории строительного контроля и по совместной нормативной метке.

Для оценки влияния дисбаланса каждая модель обучалась в трех независимых режимах: на исходной выборке, с учетом весов классов и

на аугментированной обучающей выборке. Это позволило оценить зависимость качества классификации от способа компенсации редких категорий.

Для количественной оценки использовались общая точность классификации, которая отражает долю правильно классифицированных записей, но при дисбалансе классов преимущественно характеризует качество распознавания частотных категорий. Поэтому дополнительно применялись сбалансированная точность и макроусредненная F1-мера, чувствительные к качеству классификации редких классов. Взвешенная F1-мера использовалась как интегральная оценка с учетом фактического распределения записей по классам [7].

Из общего корпуса 70 % записей использовались для обучения моделей. Тестовая и валидационная части включали по 15 % записей каждая, они сохранялись в исходном виде, аугментация выполнялась только для обучающей части. В Таблице 1 приведено сравнение результатов обучения моделей по совместной нормативной метке.

Таблица 1. Оценка моделей при классификации наименований СМР по совместной нормативной метке на тестовой выборке.

Модель и режим обучения	Совместная нормативная метка ГОСТ-СП			
	Общая точность	Сбалансированная точность	Макроусредненная F1-мера	Взвешенная F1-мера
Метод опорных векторов без компенсации дисбаланса	0,8246	0,8261	0,8167	0,8166
Логистическая регрессия без компенсации дисбаланса	0,6994	0,5440	0,5472	0,6700
Градиентный бустинг (LightGBM) без компенсации дисбаланса	0,6826	0,6043	0,5945	0,6730
Метод опорных векторов с весами классов	0,7963	0,8110	0,7544	0,7932
Логистическая регрессия с весами классов	0,6906	0,7044	0,5840	0,6864
Градиентный бустинг (LightGBM) с весами классов	0,6647	0,6035	0,5861	0,6724
Метод опорных векторов с текстовой аугментацией	0,8270	0,8365	0,8161	0,8193

Логистическая регрессия с текстовой аугментацией	0,7500	0,6936	0,7065	0,7334
Градиентный бустинг (LightGBM) с текстовой аугментацией	0,7169	0,6607	0,6558	0,7110

Во всех трех режимах обучения наилучшее итоговое качество обеспечила модель на основе метода опорных векторов. Это связано с согласованностью линейной модели с высокоразмерным разреженным TF-IDF пространством. Короткие наименования СМР содержат ограниченное число информативных терминов, поэтому вклад отдельных признаков остается значимым для разделения классов. Градиентный бустинг над решающими деревьями не обеспечил преимущества перед линейными моделями, поскольку оказался менее согласованным с высокоразмерным разреженным TF-IDF представлением коротких текстовых записей.

Способы компенсации дисбаланса повлияли на модели неодинаково. Веса классов повышали чувствительность к редким категориям, но не обеспечивали устойчивого роста итоговых метрик по совместной нормативной метке. Текстовая аугментация оказалась более результативной для логистической регрессии и LightGBM, так как увеличивала лексическую вариативность редких классов. Для метода опорных векторов ее эффект был ограниченным из-за высокого качества уже в базовом режиме. Дополнительные ошибки связаны с каскадной схемой. Ошибка первого этапа передается на второй и снижает качество классификации по совместной нормативной метке.

Полученные результаты подтверждают применимость классических методов машинного обучения для первичной нормативной интерпретации наименований СМР по двум основаниям. Наиболее эффективным является метод опорных векторов, сохраняющий устойчивость при дисбалансе классов и высокой вариативности формулировок. Вместе с тем сохраняющиеся ошибки показывают ограниченность лексического признакового представления. Дальнейшее повышение качества классификации целесообразно связывать с нейросетевыми моделями обработки текста, учитывающими семантическую близость технологически сходных, но лексически различающихся наименований работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 72041–2025. Классификация работ в строительстве. Общие положения : утвержден и введен в действие приказом

Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.04.2025 № 373-ст : введен 2025-08-01. – Москва : Рос. ин-т стандартизации, 2025.

2. СП 543.1325800.2024. Строительный контроль при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства : свод правил : утвержден приказом М-ва стр-ва и жилищно-коммун. хоз-ва Рос. Федерации от 27.12.2024 № 950/пр : дата введения 2025-01-28. – Москва : М-во стр-ва и жилищно-коммун. хоз-ва Рос. Федерации, 2024.

3. Об утверждении состава и порядка ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства : приказ М-ва стр-ва и жилищно-коммун. хоз-ва Рос. Федерации от 16.05.2023 № 344/пр : зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 № 73652 // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2023. – 2 июня. – № 0001202306020006.

4. Большакова Е. И., Воронцов К. В., Ефремова Н. Э., Клышинский Э. С., Лукашевич Н. В., Сапин А. С. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных: учеб. пособие. М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. 269 с.

5. Кутаевских А. В., Муромцев Д. И., Кирсанова О. В. Классические методы машинного обучения : учебное пособие. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2022. — 53 с.

6. Матвеева А. А., Махныткина О. В. Метод аугментации текстовых данных с сохранением стиля речи и лексики персоны // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2023. — Т. 23, № 4. — С. 743–749. — DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-4-743-749.

7. Михайличенко А. А. Аналитический обзор методов оценки качества алгоритмов классификации в задачах машинного обучения / А. А. Михайличенко // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2022. – № 4(311). – С. 52–59. – DOI: 10.53598/2410-3225-2022-4-311-52-59.

Сизяков И.Р.

*Научный руководитель: Косяков С.В., д-р техн. наук, проф.
Ивановский государственный энергетический университет,
г. Иваново, Россия*

ВЫБОР СТРУКТУРЫ ДЛЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) в 2021 году примерно 1,71 миллиарда человек в мире страдали от нарушений и болезней костно-мышечной системы [1]. При диагностике таких патологий и оценке текущего состояния пациента во время реабилитации используется в том числе оценка движений. Оцениваться могут углы движений суставов, угловые скорости при движении, длина шага и некоторые другие показатели [2-3]. При проведении таких анализов могут использоваться два подхода.

Первый подход предполагает использование физических датчиков, прикрепляемых к исследуемым конечностям. В зависимости от задачи используются приборы различной природы - акселерометры, гироскопы, комбинированные устройства и другие [4].

Второй подход основывается на использовании компьютерного зрения. Параметры движения могут вычисляться при помощи построения каркаса скелета человека, по изменению положений маркеров, прикрепленных к исследуемым участкам и так далее. Подобные системы могут быть основаны на применении ИИ или использовать алгоритмические подходы для оценки изображения [4, 5].

Все эти методы не лишены недостатков, датчики зачастую подвержены дрейфу, компьютерное зрение менее точное, либо требует использования сложного и дорогого набора аппаратных средств [4, 6]. Для решения данных проблем при оценке движений как в медицине, так и в смежных сферах используются гибридные системы, состоящие из датчиков и систем компьютерного зрения [5, 8].

Но такие системы либо применяются в сферах, не связанных с медициной, либо разработаны для проведения узконаправленных анализов, либо информация об их структуре не является публично доступной [5, 8]. Поэтому разработка новой гибридной системы для проведения медицинской диагностики является актуальной.

Обычно для измерения параметров движения используются датчики, совмещающие в себе акселерометр и гироскоп. Гироскоп

измеряет угловую скорость, а акселерометр - ускорение [4]. Проинтегрировав эти измерения по времени один раз для гироскопа и два раза для акселерометра можно получить угол отклонения.

Главным недостатком этого метода является кумулятивная погрешность: любая погрешность в начальном измерении со временем оказывает все большее влияние на итоговый результат.

Для компенсации этого эффекта применяются следующие подходы [4]:

1. Возврат пациента в статическое положение для обнуления накопившейся погрешности;
2. Использование магнитометра.

Первый подход накладывает ограничения по продолжительности непрерывной тренировки и вынуждает пациента совершать дополнительные действия.

Второй подход имеет проблемы, вытекающие из природы магнитометра. Показания магнитометра искажаются при наличии вблизи металлических предметов или других источников электромагнитного излучения, что требует выделения специально подготовленного помещения для проведения исследований [4]. Также из-за этого невозможно использовать датчики с магнитометрами при некоторых видах измерений, например, при оценке движения стопы при ходьбе на беговой дорожке.

Таким образом на текущий момент не существует идеального решения проблемы нарастания погрешности измерений при помощи датчиков.

Измерение параметров движения при помощи обработки видеoinформации возможно как при помощи маркеров, размещаемых на пациенте, так и без них, определяя интересные области на изображении при помощи ИИ или алгоритмическими методами (например, по цвету кожи руки) [4, 5].

В случае использования маркеров основная суть метода и является недостатком: требуется использовать дополнительное оборудования для проведения исследования, как то сами маркеры и камеры, установка и снятие маркеров увеличивает время исследования как для врача так и для пациента. Также требуется специально подготовленное помещение с установленными камерами, в некоторых случаях дополнительно используется инфракрасная подсветка [4].

При этом точность такого метода по результатам эксперимента со стандартными движениями, как то сгибание-разгибание рук, отклонение рук не отличается в лучшую сторону от точности методов, основанных на датчиках [6].

Первый метод основан на применении ИИ. При помощи алгоритмов компьютерного зрения строится каркас человека. На основе изменения положения каркаса оценивается движение пациента.

Цифровой скелет может рассчитываться как в 2D плоскости, так и в 3D формате при использовании нескольких камер [7], обычно 2-3, также может использоваться камера глубины, тогда как для маркерного метода может использоваться и более 10 камер одновременно. По результатам испытаний результаты использования безмаркерных методов показывают точность не хуже маркерных [7].

Общим узким местом компьютерного зрения является то, что датчики непосредственно измеряют физические величины (скорость, ускорение), в то время как компьютерное зрение опирается на оценку этих параметров по координатам на изображении, что приводит к погрешности в исследованиях, в которых оцениваются эти параметры [2-3].

Системы, сочетающие в себе датчики и компьютерное зрение разрабатываются для преодоления недостатков каждого отдельного метода.

Компьютерное зрение помогает снять дрейф датчиков, за счет чего датчики показывают лучший результат во время всего испытания [5].

Существующие системы такого типа зачастую «привязаны» к конкретному аппаратному обеспечению – камерам и датчикам и требуют наличия специального оборудования в виде камер глубины и дорогих видеокамер.

Также подобные решения обычно не выходят за рамки научных экспериментов и не попадают в промышленное использование [7].

При оценке движения необходимо выполнить 3 операции:

- Получить показания от датчиков
- Получить показания компьютерным зрением
- Объединить результаты

Получение показаний от датчиков не является сложной задачей само по себе, сейчас практически все датчики имеют интерфейс по переводу результатов измерений в цифровой формат [4]. Проблемы возникнут только при необходимости масштабирования системы для возможности работы с датчиками различной природы или с разными интерфейсами взаимодействия.

Оценка движения при помощи компьютерного зрения может выполняться как маркерным, где в роли маркера выступает прикрепленный датчик, так и безмаркерным способом. В обоих случаях непосредственно отслеживание изменения положения в пространстве

проще и точнее всего осуществлять при помощи алгоритмов ИИ, например нейронных сетей [8].

При объединении результатов возникает проблема синхронизации данных между датчиками и компьютерным зрением, так как зачастую частота считывания показаний у датчиков и камер значительно различается. В данном случае для синхронизации можно воспользоваться различными способами, как алгоритмическими, так и основанными на ИИ [8].

Таким образом система должна состоять из следующих программных компонентов:

Интерфейс для считывания показаний датчиков.

Алгоритм компьютерного зрения для получения параметров движения из видео, записанных камерами.

Алгоритм синхронизации результатов измерения.

В компонент 2 планируется реализовать алгоритмы маркерного и безмаркерного компьютерного зрения с последующим сравнением качества их работы. При этом кроме непосредственно алгоритма считывания показаний необходимо также добавить блок предобработки результатов «артефактов», возникающих при обработке видео данных, например, отсутствие распознавания объекта исследования на отдельных кадрах или ошибочное распознавание объекта в неверной позиции. Для определения таких результатов может быть использована дополнительный ансамбль из 2 моделей ИИ для классификации таких неверных показаний и заполнение пропусков в распознавании положения для проблемных кадров значениями, прогнозируемыми на основе предыдущих значений.

По итогам исследования была определена структура программного обеспечения гибридной системы проведения биомеханической диагностики на основе которого будет выполняться реализация системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заболевания опорно-двигательного аппарата // Всемирная организация здравоохранения : офиц. сайт. URL: <https://www.who.int/ru>. Дата публикации: 08.02.2021.

2. Скворцов Д.В. Клинический Анализ Движений. - Издательство НПП - “Стимул”, Иваново, 1996. - 344 с.

3. Гурьев В.В., Зоря В.И., Бирюкова Е.В., Прокопенко Р.А., Фролов А.А. Биомеханический анализ показателей движений в суставах нижней конечности у больных с коксартрозом как метод

функциональной диагностики. – Вестник экспериментальной и клинической хирургии – Том 4, 2011. - С. 94-100.

4. Thomas S. J., Zeni J. A., Winter D. A. Winter's Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 5th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2023 - 357 с.

5. Yaqin Tao, Huosheng Hu, Huiyu Zhou. Integration of Vision and Inertial Sensors for 3D Arm Motion Tracking in Home-based Rehabilitation // The International Journal of Robotics Research - 2007. - С. 607-624.

6. Karnica Manivasagam. Comparison of wrist velocity measurement methods: imu, goniometer and optical motion capture system. - KTH Royal Institute of Technology, Stockholm - 2020. - 37 с.

7. Wade L, Needham L, McGuigan P, Bilzon J. Applications and limitations of current markerless motion capture methods for clinical gait biomechanics // Издательство научных журналов открытого доступа PeerJ. URL: <https://peerj.com> Дата публикации: 25.02.2022

8. Ronald Clark, Sen Wang, Hongkai Wen, Andrew Markham, Niki Trigoni. VINet: Visual-Inertial Odometry as a Sequence-to-Sequence Learning Problem. // Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference On Artificial Intelligence - 2017. - С. 3995-4001

УДК 004.89:658.5

Скворцов А.А., Соловьев Д.С., Лалаян Р.А.

*Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,
г. Тамбов, Россия*

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА К ДАННЫМ

Промышленный искусственный интеллект следует рассматривать не как универсальный набор алгоритмов, а как инструмент, работающий внутри конкретного организационно-технического контура. На предприятии данные связаны с оборудованием, технологическими режимами, нормативами, безопасностью, производственным учетом и ответственностью специалистов. Поэтому задача создания ИИ-решений относится не только к машинному обучению, но и к области принятия решений, системного анализа и управления сложными производственными системами [1–4].

В отличие от открытых задач машинного обучения, в промышленной среде первичен не выбор модели, а вопрос готовности

данных: их доступности, качества, сопоставимости, интерпретируемости и пригодности для включения в реальный контур управления. Эти ограничения подробно рассматриваются в исследованиях по машинному обучению в производстве, промышленным ИИ-системам, распределенному обучению и качеству данных [5–8]. В связи с этим наиболее обоснованным направлением является разработка не полностью автономных алгоритмов, а интеллектуальных систем поддержки принятия решений, где модель дополняет экспертную оценку и регламентированные действия.

Цель статьи состоит в систематизации барьеров, возникающих при создании ИИ-решений для промышленных предприятий в условиях ограниченного доступа к данным, а также в формулировке критерия оценки готовности предприятия к внедрению таких решений.

Анализ специфики промышленных данных как ресурса для ИИ

Промышленные данные редко представляют собой готовый массив для машинного обучения. Они распределены между SCADA-, MES-, ERP-системами, журналами технического обслуживания, отчетами смен, ведомостями качества и локальными файлами. Поэтому наличие большого объема информации еще не означает ее пригодности для построения надежной модели.

Ключевая трудность состоит в контекстной зависимости данных. Один и тот же показатель может иметь разный смысл в зависимости от режима работы оборудования, сырья, состояния агрегата, номенклатуры продукции и действий персонала. Без метаданных, временной синхронизации и связи с производственным событием запись теряет аналитическую ценность.

Дополнительные ограничения создают закрытость промышленной среды и редкость критически важных событий. Данные об отказах, дефектах, простоях и технологических режимах часто имеют ограниченный доступ, а сами отказы и аварийные состояния встречаются редко. Это приводит к дефициту размеченных примеров, дисбалансу классов и риску переоценки качества модели по исторической выборке.

Следовательно, подготовка промышленных данных для ИИ является не только вычислительной задачей. Она требует участия технологов, специалистов по качеству, ИТ- и АСУ-подразделений, поскольку данные должны быть не просто собраны, но и корректно интерпретированы в производственном контексте.

Для проектирования промышленных ИИ-систем необходимо учитывать не только технические, но и организационно-методические ограничения. Их основные группы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Барьеры создания ИИ-решений для промышленных предприятий

Группа барьеров	Суть ограничения	Основные меры
Институциональные	Закрытость данных, отсутствие владельца и регламента доступа	Управление данными, распределение прав и ответственности
Инфраструктурные	Разрозненные ИС, разные форматы и идентификаторы, несинхронность данных	Интеграция источников, единые метаданные, нормализация форматов
Качественные	Пропуски, шум, дубли, смещение и устаревание данных	Контроль качества, аудит полноты, мониторинг дрейфа
Семантико-экспертные	Неоднозначность терминов, слабая разметка, неформализованные знания специалистов	Единые правила разметки, экспертная верификация, тезаурус событий
Верификационные	Редкость отказов, сложность проверки модели в реальном процессе	Пилотная эксплуатация, сценарная валидация, поэтапное внедрение

Следовательно, результативность ИИ-проекта определяется не только выбором алгоритма, но и готовностью предприятия обеспечить данные, их интерпретацию, качество и проверку в реальном контуре принятия решений.

Для перехода от общего обсуждения к управляемой практике целесообразно оценивать не абстрактную «цифровую зрелость», а именно готовность предприятия к созданию и использованию ИИ-решения в конкретном контуре принятия решений.

Предлагается использовать интегральный показатель готовности предприятия к внедрению ИИ:

$$R_{AI} = \sum_{i=1}^6 w_i r_i, \quad \sum_{i=1}^6 w_i = 1, \quad 0 \leq r_i \leq 1, \quad (1)$$

где r_1 - показатель доступности данных для аналитического контура, r_2 - показатель полноты и регулярности данных, r_3 - показатель интероперабельности источников, r_4 - показатель обеспеченности

экспертной разметкой и предметной интерпретацией, r_5 - показатель зрелости управления данными, включая требования безопасности и ответственности, r_6 - показатель готовности управленческого или технологического контура к использованию результата модели, w_i - весовые коэффициенты, определяемые с учетом специфики задачи.

Содержательно формула (1) фиксирует простой, но принципиальный тезис: возможность построить модель еще не означает возможность использовать ее в работе предприятия. Даже при высоких значениях r_2 и r_3 низкие значения r_4 - r_6 делают внедрение формальным. И наоборот, при умеренном объеме данных, но высоком уровне экспертного сопровождения и наличии понятного контура принятия решений предприятие может получить полезную интеллектуальную систему поддержки.

На практике показатель RAI целесообразно интерпретировать по трем уровням. При $RAI < 0,4$ предприятие находится в зоне предварительной подготовки: нужно не внедрять ИИ, а выстраивать базовые процессы работы с данными. При $0,4 \leq RAI < 0,7$ возможны локальные пилоты в узких задачах с обязательным участием эксперта. При $RAI \geq 0,7$ можно переходить к промышленному пилотированию и интеграции решения в регламентированные процедуры.

Достоинство такого критерия состоит в том, что он не сводит вопрос к количеству накопленных записей. Он позволяет рассматривать ИИ-проект как задачу системного проектирования, в которой данные, экспертиза, безопасность, интеграция и процедура принятия решения оцениваются совместно.

Преодоление ограничений данных целесообразно начинать с инвентаризации не всех имеющихся информационных ресурсов, а только тех данных, которые реально описывают управленческую или технологическую ситуацию. Далее необходимо формализовать производственное событие: определить его признаки, опорные источники данных и ответственных экспертов за интерпретацию.

Для промышленной среды наиболее оправдана не полностью автономная модель, а гибридная система поддержки принятия решений. В ней алгоритм выявляет отклонения, ранжирует ситуации, формирует предупреждения и варианты реагирования, а окончательная оценка сохраняется за специалистом.

Отдельное значение имеет поэтапное накопление корпоративных датасетов: справочников, журналов событий, классификаторов причин отклонений, правил разметки и описаний режимов. Такая база должна сопровождаться постоянным контролем качества данных, включая

мониторинг пропусков, дрейфа распределений, конфликтов идентификаторов и сохранения смысла признаков.

Синтетические данные и распределенное обучение могут применяться как вспомогательные инструменты, например для отладки, балансировки редких классов и решения задач без передачи исходных массивов. Однако они не заменяют экспертную интерпретацию и проверку модели в реальных условиях.

В общем виде рациональный порядок разработки включает выбор узкой задачи, описание контура решения, аудит данных, экспертную формализацию событий, создание пилотной системы и поэтапную эксплуатационную валидацию.

Создание ИИ-решений для промышленных предприятий ограничивается не только дефицитом открытых датасетов, но и самой природой производственных данных. Они формируются в закрытых организационно-технических контурах, зависят от регламентов, инфраструктуры, практики учета, экспертной интерпретации и требований безопасности. Поэтому прямой перенос типовых подходов машинного обучения в промышленную среду имеет ограниченную применимость. Успешный ИИ-проект должен рассматриваться как задача системного проектирования, где важны качество данных, их смысловая согласованность, проверка модели и включение результата в контур принятия решений. Наиболее реалистичным направлением является развитие интеллектуальных систем поддержки принятия решений, сочетающих алгоритмический анализ, экспертное знание и регламентированные действия. Такой подход позволяет рассчитывать не на демонстрационный эффект, а на устойчивый практический результат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах : учебник. –2-е изд., перераб. и доп. –М. : Логос, 2002. –390 с.
2. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов. –3-е изд. –М. : Юрайт, 2021. –562 с.
3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. –М. : Наука, 1986. –288 с.
4. Бурков В. Н., Новиков Д. А. Теория активных систем. Состояние и перспективы. – М. : НПО «СИНТЕГ», 1999. –128 с.
5. Wuest T., Weimer D., Irgens C., Thoben K.-D. Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications // Production &

Manufacturing Research. –2016. – Vol. 4. – P. 23–45. DOI: 10.1080/21693277.2016.1192517.

6. Plathottam S. J., Rzonca A., Lakhnori R., Iloje C. O. A review of artificial intelligence applications in manufacturing operations // Journal of Advanced Manufacturing and Processing. –2023. –Vol. 5. –No. 3. –Article e10159. –19 p. DOI: 10.1002/amp2.10159.

7. Li X., Cheng Y., Møller C., Lee J. Data issues in industrial AI systems: a meta-review and research strategy // Computers in Industry. – 2025. –Vol. 173. –Art. 104361. DOI: 10.1016/j.compind.2025.104361.

8. ISO 8000-1:2022. Data quality – Part 1: Overview. – Geneva : International Organization for Standardization, 2022. – 20 p.

УДК 693.547:691.328

Скиба К.В.

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

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Современное монолитное строительство характеризуется усложнением архитектурных форм и повышением густоты армирования конструкций. Традиционные бетонные смеси требуют обязательного вибрационного уплотнения, что в условиях плотной арматуры в колоннах или стеновых конструкциях зданий становится технически сложным и энергозатратным процессом.

Самоуплотняющийся бетон (СУБ) представляет собой одно из значимых достижений в области строительных материалов за последние десятилетия. СУБ, способный уплотняться под действием собственного веса без применения вибрационного оборудования, кардинально меняет подходы к возведению монолитных конструкций и изготовлению железобетонных изделий.

СУБ был разработан в Японии в конце 1980-х годов профессором Х. Окамурой, целью которого было решение проблемы нарастающего дефицита квалифицированной рабочей силы на участках укладки и уплотнения бетона. Ключевым достижением стала разработка нового поколения суперпластифицирующих добавок на основе полиакрилата и поликарбоксилата, что позволило повысить текучесть бетонной смеси при одновременном снижении содержания воды. В 1990-х годах самоуплотняющийся бетон стал интенсивно исследоваться учеными

Западной Европы, а затем и других стран мира. Сегодня СУБ успешно применяется в Японии, Канаде, Швеции, Нидерландах, Таиланде, Тайване и многих других странах, включая Россию. Первоначально материал использовался на предприятиях по производству сборных железобетонных изделий, а затем начал активно применяться непосредственно на строительной площадке.

Проектирование состава самоуплотняющегося бетона – сложный процесс, который требует учета множества факторов: характеристик материалов, требований к свойствам бетона, особенностей конструкции и технологии укладки.

На сегодняшний день СУБ для монолитных конструкций одна из самых перспективных технологий в современном монолитном домостроении. В РФ применение СУБ регламентируется национальным стандартом ГОСТ Р 59714 [1]. Уникальные свойства бетона достигаются благодаря тщательно подобранному составу и использованию современных химических добавок.

В современном строительстве в составе данных бетонов применяют комплексные добавки на основе эфиров поликарбоксилатов, которые позволяют получить высокопрочные самоуплотняющиеся смеси с низким водоцементным отношением [2]. СУБ должен иметь большую жидкотекучесть без внешней энергии в замкнутых пространствах, даже при наличии препятствий.

Материалы, используемые для приготовления СУБ, не имеют принципиальных отличий от материалов, используемых в традиционных бетонах в соответствии со стандартом ГОСТ 7473 [3].

Для подбора оптимального состава и получения самоуплотняющегося бетона использовались следующие сырьевые компоненты: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (АО «Белгородский цемент»); смесь щебня гранитного фракций 5...20 мм (ОАО «Павловскгранит»); песок для строительных работ 1 класса крупный (ОАО «Верхнекамск») с модулем крупности $M_{кр}=1,93$; в качестве наполнителя - смесь золошлаковых отходов и золы-уноса Рефтенской ГРЭС. В качестве модифицирующих химических добавок использовались высокоэффективные, суперпластифицирующие добавки на основе поликарбоксилата SikaViscoCrete GL 115, SikaViscoCrete SKY 591. Технические характеристики добавок представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики суперпластификаторов

Показатель	SikaViscoCrete SKY 591	SikaViscoCrete GL 115
Внешний вид	Однородная жидкость от желтого до коричневого цвета	Однородная жидкость светло желтого цвета
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1040-1080	1050-1090
Водородный показатель, рН	6±2	6±2
Содержание Cl-иона, в масс. %, не более	0,1	0,1

Добавка поликарбоксилата дает возможность бетонирования густоармированных конструкций при полном исключении виброуплотнения, что способствует улучшению экологии, а также снижению уровня шумового и вибрационного воздействия [2].

Применение суперпластификаторов на основе поликарбоксилата способствует высокой подвижности и стойкости к расслаиванию самоуплотняющихся смесей, что гарантирует однородность, низкую пористость и улучшение физико-механических характеристик бетона (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.). СУБ имеют высокое качество поверхности, что значительно увеличивает долговечность конструкций [4-6].

Введение суперпластификаторов SikaViscoCrete SKY 591 и SikaViscoCrete GL 115 в качестве комплексной добавки предоставляет возможность производить самоуплотняющиеся бетоны классом по прочности В30, классом по подвижности П5, морозостойкостью F200, не требующие трудозатрат для укладки и уплотнения смеси. Результаты подбора составов смеси с комплексными добавками представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты подбора составов смеси с суперпластификаторами

Показатель	Состав 1 SikaViscoCrete SKY 591	Состав 2 SikaViscoCrete SKY 591
Расход цемента	380	380
Расход песка	850	850
Расход щебня	920	920
Расход воды	190	200
Расход пластификатора	1,3	1,2
В/Ц	0,5	0,53
Распływ конуса	77	77

Добавка поликарбоксилата дает возможность бетонирования густоармированных конструкций при полном исключении виброуплотнения, что способствует улучшению экологии, а также снижению уровня шумового и вибрационного воздействия. Применение суперпластификаторов способствует высокой подвижности и стойкости к расслаиванию самоуплотняющихся смесей гарантируется однородность, низкая пористость и улучшение физико-механических характеристик бетона (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.), более высокое качество поверхности, что значительно увеличивает долговечность конструкций [7].

В настоящее время растут объемы использования СУБ при возведении монолитных зданий и сооружений, что обусловлено высокой технологичностью и экономической эффективностью этого материала. Перспективы его развития связаны с дальнейшим совершенствованием составов, расширением областей применения и накоплением практического опыта использования в различных климатических и технологических условиях России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 59714- 2021 Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия // Официальное издание. М. Российский институт стандартизации, 2021. 16 с.
2. Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов// Стандарт организации СТО 70386662-306-2013. С. 12-30.
3. ГОСТ 7473- 2010 Смеси бетонные. Технические условия // Официальное издание. М. Стандартинформ, 2010. 16 с
4. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34-37.
5. 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.
6. Сулейманова Л.А., Семенов П.Е. Высококачественное композиционное вяжущее с применением техногенного сырья // В сборнике: Актуальные вопросы строительства. Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский

архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Российская академия архитектуры и строительства; ответственный за выпуск Ю. Л. Сколубович. 2012. С. 266-270.

7. Сулейманова Л.А., Слепухин А.С., Плехова С.И., Ряпухин А.Н. Эффективность пластифицирующих добавок при производстве высокотехнологичных бетонов // В сборнике: Научные технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 190-193.

УДК 624.011.1

Стрючкова М.В., Сказозуб З.Ю., Скирдин Д.С.

Научный руководитель: Руденко О.Л., ст. преп.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ТКАНЕЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК

В современном строительстве всё большее распространение получают клеёные деревянные конструкции (КДК). Они обладают рядом преимуществ по сравнению с цельно древесными аналогами: повышенная прочность, возможность перекрытия больших пролётов, стойкость к биопоражению и геометрическая стабильность. Однако рост эксплуатационных нагрузок и увеличение пролётов перекрываемых конструкций требуют дальнейшего повышения несущей способности и жёсткости таких элементов.

Одним из эффективных способов решения этой задачи является армирование композитными материалами. Углепластики и стеклопластики обладают высокими прочностными характеристиками (прочность на растяжение до 3000 МПа), коррозионной стойкостью и низкой плотностью (1,5–2,0 г/см³), что делает их перспективными для усиления деревянных балок [1]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния композитных тканей на основе углеродного и стекловолокна на несущую способность и деформацию клеёных деревянных балок [5].

Для проведения исследований были изготовлены серии клеёных деревянных балок сечением 50×80 мм и длиной 1200 мм. Балки склеивались из досок сосны обыкновенной влажностью 10–12% с использованием водостойкого клея марки KLEIBERIT 303.0.

Склеивание производилось под давлением 0,8 МПа в течение 24 часов при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Армирование осуществлялось углеродной тканью марки FibArm Таре 230/200 (модуль упругости 230 ГПа, толщина слоя 0,2 мм) и стеклотканью марки Е-СR-200 (модуль упругости 70 ГПа, толщина слоя 0,25 мм). Ткани укладывались в растянутую зону балки (нижняя грань) и фиксировались эпоксидным связующим марки ED-20 с отвердителем ПЭПА. Отверждение проводилось при температуре 20°C в течение 48 часов. Были испытаны следующие серии образцов (Табл. 1).

Таблица 1 – Программа испытания образцов

Серия	Тип армирования	Количество образцов, шт
К-0	Без армирования (контрольная)	3
К-У	Углеродная ткань (1 слой)	3
К-У2	Углеродная ткань (2 слоя)	3
К-С	Стеклоткань (1 слой)	3
К-С2	Стеклоткань (2 слоя)	3

Испытания проводились на четырёхточечный изгиб. Нагружение осуществлялось ступенями по 0,5 кН с выдержкой на каждой ступени 3 минуты для фиксации прогибов. Прогибы измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм в трёх сечениях: по середине пролёта и на расстоянии $L/4$ от опор. Разрушающую нагрузку фиксировали по достижении предела прочности древесины при изгибе (появлению трещин) или разрушению клеевого шва.

В результате испытаний были получены данные о разрушающей нагрузке и величине предельного прогиба для каждой серии образцов. В Табл. 2 сведены средние значения прочностных и деформативных характеристик.

Таблица 2 – Результаты испытания балок

Серия	Средняя разрушающая нагрузка, кН	Относительное увеличение, %	Предельный прогиб, мм	Относительное снижение, %
К-0	12,4	0	18,2	0
К-У	19,1	+54	10,9	-40
К-У2	20,8	+68	9,8	-46
К-С	17,5	+41	11,7	-36
К-С2	18,9	+52	10,3	-43

Анализ полученных данных показывает, что армирование композитными тканями приводит к значительному увеличению несущей способности и снижению деформативности. Максимальный эффект достигается при использовании двух слоёв углеродной ткани. Прирост прочности для серии К-У2 составил 68% по сравнению с контрольной серией. Это объясняется высоким модулем упругости углеволокна (до 230 ГПа), который в 12 раз превышает модуль упругости древесины вдоль волокон (≈ 10 ГПа).

При этом увеличение числа слоёв ткани с одного до двух даёт дополнительный прирост несущей способности: для углеродной ткани – 14%, для стеклоткани – 11%. Однако следует отметить, что увеличение количества слоёв приводит к росту стоимости и трудоёмкости армирования, поэтому применение двух слоёв целесообразно только для конструкций с повышенными требованиями к жёсткости.

Для количественной оценки эффективности армирования был рассчитан коэффициент усиления по прочности k_σ по формуле (1):

$$k_\sigma = \frac{P_{\text{арм}}}{P_{\text{контр}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{арм}}$ – разрушающая нагрузка армированной балки, кН; $P_{\text{контр}}$ – разрушающая нагрузка контрольной балки, кН.

Значения коэффициента усиления составили: для серии К-У – 1,54; для К-У2 – 1,68; для К-С – 1,41; для К-С2 – 1,52. Таким образом, углеродная ткань демонстрирует на 10-15% более высокую эффективность по сравнению со стеклотканью при одинаковом количестве слоёв.

Снижение предельного прогиба также более выражено для балок, армированных углеволокном. Для серии К-У прогиб снизился на 40%, тогда как для серии К-С – только на 36%. Это объясняется более высоким модулем упругости углеродного волокна.

Контрольные образцы разрушались хрупко по нормальным трещинам в растянутой зоне. Армированные балки демонстрировали вязкое разрушение с развитием трещин в сжатой зоне, что свидетельствует о перераспределении напряжений и более полном использовании прочностных свойств древесины.

Подводя итог исследования было выяснено:

Усиление клееной древесины армирующих волокнистыми холстами поднимается рабочий ресурс по нагрузкам на 41 – 68 %. Благодаря использованию двух рядов углеродной нити дают прибавку 68%.

Гибкость под нагрузкой падает на 36 – 46 %, то есть изделия становятся жёстче.

Угольное волокно эффективнее стеклянного на 10 – 15%, хотя и обходится значительно дороже [4].

Внедрение арматуры трансформирует поведение балки при перегрузке: трещинообразование перемещается из растянутой зоны (нижней) в сжатую (верхнюю), тут разрушение становится не хрупким, а вязким. Что положительно сказывается на безопасности.

Вышесказанное дает понять, что композитные ткани выгодно использовать для ремонта и усиления клееных деревянных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овсянников, С.И. Обоснование выбора полимерных армирующих материалов в производстве клеенных деревянных конструкций / С.И. Овсянников, О.Л. Руденко // Наука и инновации в строительстве. — 2024. — № 8. — С. 347-352.

2. Карлсен, Г.Г. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Г. Карлсен, В.М. Коптев. — Москва : Стройиздат, 1966. — 268 с.

3. MarketsandMarkets. Global Wood Construction Market Report 2023 [Электронный ресурс].

4. Овсянников С.И., Руденко О.Л. Обоснование выбора полимерных армирующих материалов в производстве клеённых деревянных конструкций // Сборник докладов международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 347–352.

5. Лесовик В.С., Дудченко В.А., Сальникова А.С., Казлитина О.В. Композиционные вяжущие с использованием продуктов рециклинга строительных материалов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2026. – Т. 23, № 1. – С. 102–113.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

Современные тенденции развития грузоподъемных машин, в частности мостовых кранов, обусловлены необходимостью повышения производительности погрузочно-разгрузочных работ. Решение данной задачи возможно за счёт увеличения рабочих скоростей машины. Однако, это сопровождается изменением времени на позиционирование груза, отсутствием плавного торможения механизма передвижения мостового крана, увеличением амплитуды раскачивания груза. Все вышеперечисленные проблемы в первую очередь влияют на долговечность мостового крана и на процесс работы предприятия, что влечет значительные убытки. В связи с этим, с целью повышения эффективности транспортировки грузов главной задачей является оптимизация тормозных характеристик механизма передвижения мостового крана, что позволит снизить динамические нагрузки в металлоконструкции крана и в подъёмных канатах.

Для исследования динамических нагрузок грузоподъемных кранов применяются математические модели, наиболее полно описывающие тормозные процессы электромеханической системы «привод – металлоконструкция – груз» [1]. На рис. 1 представлена трехмассовая динамическая модель мостового крана при исследовании переходных процессов передвижения.

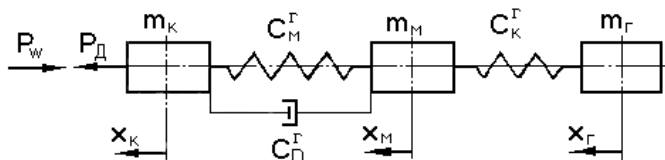


Рис. 1. Динамическая модель механизма передвижения мостового крана.

Динамическая модель выполнена со следующими допущениями: гибкая подвеска груза заменена упругой связью с условной горизонтальной жесткостью, пробуксовка колес отсутствует, сила

сопротивления передвижению крана принята постоянной, не учтены промежутки в приводе.

С помощью компьютерной программы [2] для оценки влияния различных параметров системы «привод – металлоконструкция – груз» на характер переходного процесса и величину максимальных динамических нагрузок, проведено множество вычислительных экспериментов и проанализировано несколько десятков тормозных процессов крана грузоподъемностью 16 т. На рис. 2 и рис. 3 в качестве примера приведены графики переходных процессов при торможении мостового крана, представленного трехмассовой динамической моделью в режимах динамического торможения и противоключения.

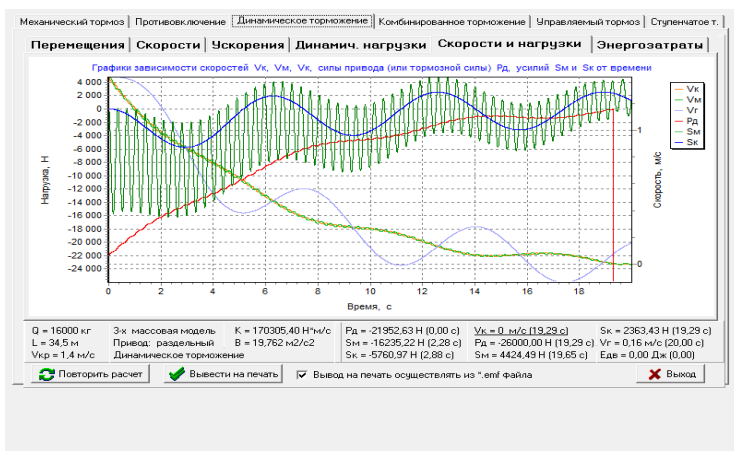


Рис. 2. Графики переходных процессов мостового крана в режиме динамического торможения электродвигателя механизма.

Анализ графиков показал, что при торможении мостового крана как в режиме динамического торможения, так и при торможении противоключением, динамические нагрузки на металлоконструкцию крана и канаты варьируются в зависимости от механических характеристик электропривода механизма передвижения мостового крана. Так, динамические усилия в металлоконструкции мостового крана при торможении противоключением по первым трём механическим характеристикам изменяются на 7 %, а при переходе на четвертую и пятую характеристики стремительно падают на 32 % и 29 % соответственно. В то же время, при динамическом торможении динамические нагрузки на металлоконструкцию увеличиваются между

первой и четвертой характеристиками, на 8-30 %, а при переходе на пятую характеристику уменьшается на 4 %.

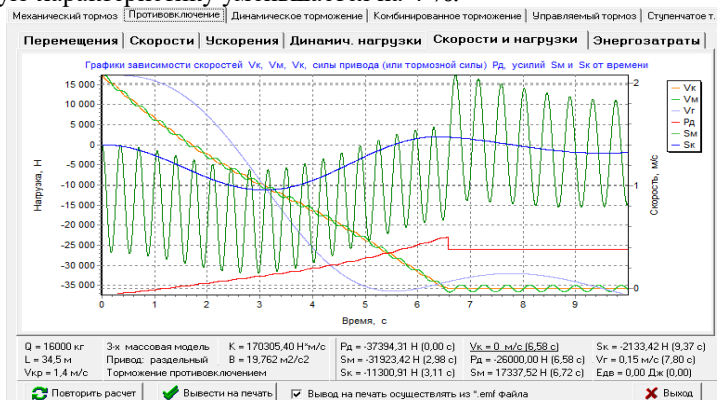


Рис. 3. Графики переходных процессов мостового крана в режиме торможения противовключением электродвигателя механизма

При динамическом торможении по первым трём механическим характеристикам усилия в канатах на 6 %-50 % меньше, чем при торможении противовключением. Однако, при переходе на последующие механические характеристики, динамические усилия в канатах увеличиваются и превышают аналогичные показатели при торможении противовключением на 38 %-52 %.

Сравнив переходные процессы при торможении мостового крана можно заключить, что наиболее рациональным будет проведение процесса торможения в режиме динамического торможения по третьей механической характеристике. В то же время проведенный анализ показал, что динамические усилия в металлоконструкции крана и канатах, а также время торможения крана существенно зависит от механических характеристик электропривода передвижения крана. Поэтому для более точного определения наиболее эффективной механической характеристики электропривода передвижения крана необходимо провести оптимизацию механических характеристик привода передвижения мостового крана в режиме динамического торможения по критерию, одновременно содержащему: максимальные значения динамических нагрузок на металлоконструкцию крана, время торможения и максимальную амплитуду отклонения.

Так как оптимизация механической характеристики механизма передвижения крана лишь по одному из критериев ухудшает некоторые показатели и, в то же время, ухудшает другие, то выбор оптимальной характеристики необходимо осуществлять путем применения

обобщенного критерия оптимизации, состоящего из: максимальных динамических нагрузок, времени торможения крана и амплитуды колебания груза. Процесс торможения крана можно полностью задать следующими величинами: максимальным значением динамических нагрузок на металлоконструкцию крана, временем торможения и максимальной амплитудой отклонения груза от вертикали после остановки крана. Описание переходных процессов мостовых кранов необходимо осуществлять с помощью математической модели крана.

Таким образом, одним из наиболее известных и эффективных путей осуществления экономического и плавного торможения кранов является динамическое торможение [1, 3-4]. На сегодняшний день механизмы подъема кранов уже оснащаются устройствами для динамического торможения в режиме опускания груза [4], данные устройства также разработаны для механизмов передвижения [3]. Но еще остается много нерешенных вопросов, касающихся устройств динамического торможения. В первую очередь, не существует четких рекомендаций по выбору оптимальных механических характеристик электроприводов поворота и передвижения в режимах динамического торможения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неженцев А.Б. Анализ переходных процессов при торможении мостовых кранов // Materials of the XI International scientific and practical conference, «Science without borders», - 2015. Volume 23. Technical sciences. Sheffield. Science and education LTD. - p. 27-32
2. Аветисян С.М., Неженцев А.Б. Программное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 1: при работе механизмов передвижения) // Підйомно-транспортна техніка, №4(8). - Днепропетровск, 2003. – с. 33-48.
3. Srđan Bošnjak, Vlada Gašić, Momčilo Đorđević, Nenad Zrnić // FME Transactions. – 2013. – №41. – p. 291-297.
4. Ismail Gerdemeli , Ismail Esen and Derya Içzer : Dynamic response of an overhead crane beam due to a moving mass using moving finite element approximation, Key Engineering Materials Vol. 450, pp 99-102, 2011.

Тополян А.В.

*Научный руководитель: Добровольская Н.Ю., канд. пед. наук, доц.
Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СИНТАКСИЧЕСКИ НЕКОРРЕКТНЫХ ФРАГМЕНТОВ КОДА НА ОСНОВЕ ТАКСОНОМИИ ПРОМПТОВ

Формирование компетенций будущего программиста в современных условиях претерпевает существенные изменения. Знание синтаксиса, поиск соответствующих ошибок, написание базовых блоков программы заменяется вайбкодингом. В связи с этим важное значение приобретает формирование навыков анализа кода, поиска логических ошибок, отладки и коррекции синтаксических ошибок. Однако со стороны преподавателя возникает существенная проблема – необходимо в достаточном количестве предложить не просто задачи по программированию, а готовые фрагменты кода, содержащие ошибки. Традиционный подход, при котором студенты ищут ошибки в «чужом» коде, ограничен малым объемом учебных материалов и не позволяет автоматизировать диагностику навыков.

Одним из перспективных решений проблемы является использование генеративных нейросетей (LLM) и регулярных выражений для автоматического создания синтаксически некорректных фрагментов кода[4]. Сконструированные регулярные выражения в дальнейшем можно использовать как основу в компьютерных тестах и обучающих программах. Однако применение LLM для синтеза регулярных выражений (regex) сопряжено с фундаментальной проблемой: неформальная постановка задачи приводит к недетерминированным, избыточным или потенциально опасным результатам[2]. Регулярные выражения, будучи чувствительными к синтаксису, контексту и производительности, требуют не просто описания желаемого поведения, а строгой формализации.

Для того, чтобы сконструировать регулярное выражение с помощью нейросетей требует не просто описание задачи, а формализованный промпт. Нами предлагается промпт, задающий контекст синтаксиса; область поиска; ограничения безопасности; семантику извлечения. Такая структура превращает LLM из «генератора текста» в детерминированный синтаксический трансформер.

Промпты, способные генерировать регулярные выражения, которые можно рассматривать как некие шаблоны, должны обладать некоторыми особенностями. Для минимизации ложных срабатываний, необходимо учитывать, что в коде могут быть строки, комментарии и HTML/XML блоки. Они могут порождать дополнительные нежелательные результаты[1], так как внутри таких блоков код не компилируется. Для возможности проверить результат необходимо, чтобы промпт требовал объяснение каждой части регулярного выражения, границы применимости, примеры совпадений.

На основе наиболее популярных ошибок студентов нами были выделены базовые категории ошибок. Каждой категории соответствует некоторый промпт и формат ожидаемого ответа (таблица 1). Такая классификация послужила основой предложенной таксономии промптов для поиска ошибок в коде через regex.

Таблица 1. Категории ошибок

Категория	Пример ожидаемого regex
Пропуск или добавление лишней скобки	<code>\([^\)]*(?:\[^\)]*\)[^\)]*)*\$(<?!))</code>
Отсутствие обязательного синтаксического элемента (; или :)	<code>(?m)^\[^\;{}]*\[^\;{}\/s\]s*\$</code>
Ошибка в написании ключевых слов	<code>\b(if while def class return else elif from def)\b</code>
Незакрытые строковые литералы	<code>(["'])(?:[^\n\\] \\["'])*(<?:\n\$)(<?!\\)</code>
Нарушение структуры блока (отступы в Python)	<code>(?m)^\(s+)(?!\\1\$)\S</code>
Некорректное объявление управляющих конструкций	<code>^\s*\([^\)]+\)\s*\{?</code>
Ошибки в логических операциях	<code>\bif s+.+? \b(and or)\b.+?:</code>
Неверное условие завершения цикла (включая бесконечные циклы)	<code>\bwhile\s*([^\)]*([<>]=?)[^\)]*)\)</code>
Некорректное использование операторов присваивания с накоплением	<code>\b(\w+)\s*=\s*\1\s*[+.-\/]</code>
Ложные пустые операторы циклов и условий	<code>\b(for while if)\s*([^\)]*)\s*;</code>
Ошибки в границах цикла	<code>\bfor\s+\w+\s+in\s+range\s*\(\s*\len\s*\([^\)]+\)\s*[+-]\s*\1\s*\)</code>

Каждой категории соответствует собственный промпт. Приведем примеры промптов некоторых категорий.

Промпт для первой категории: «Найди места, где пропущена открывающая или закрывающая скобка в арифметическом выражении, вызове функции или условии, либо где есть лишняя скобка.»

Промпт для второй категории: «Найди строки, где в конце условного оператора, цикла, определения функции или класса в Python отсутствует двоеточие.».

Промпт для третьей категории: «Найди распространенные опечатки в ключевых словах языка Python: лишние или пропущенные буквы. Сгенерируй их случайным образом.».

Данные промпты нацелены на поиск уже совершенных ошибок. Но если преподаватель хочет специально внести в свой код ошибки, чтобы студенты, выполняя задания улучшали свои навыки отладки, можно использовать универсальный промпт генерации различных ошибок в коде.

Фрагмент промпта:

Ты – эксперт по синтаксическому анализу кода. Нужно внести одну синтаксическую ошибку с помощью regex.

Использование:

```
if                                     re.search(pat,                               line):
line = re.sub(pat, rep, line, count=1)
```

Сгенерируй:

pat — находит корректный фрагмент кода.

rep — изменяет этот фрагмент, делая его некорректным.

Краткое объяснение.

Цель: внести ошибку заданного типа в исправный код.

Параметры:

Тип ошибки: {{КАТЕГОРИЯ ОШИБКИ}}

Язык: {{ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ}}

Игнорировать строки: {{ДА/НЕТ}}

Ограничения:

без вложенных квантификаторов ((.)*, (.+)+);*

без look-ahead / look-behind переменной длины;

минимизировать ложные срабатывания.

Для подтверждения эффективности предложенного промпта было проведено исследование, направленное на сравнение качества генерации регулярных выражений тремя нейросетевыми моделями (DeepSeek-V3, GigaChat и Alice AI). Рассмотрены несколько категорий ошибок, по которым выбранные модели должны были предоставить регулярные выражения для поиска потенциальных мест для этих ошибок и создания собственно ошибок.

Например для категории «Отсутствие обязательного синтаксического элемента »:, для языка программирования Python и с игнорированием всех исключений DeepSeek-V3 предоставил следующие выражения: `r'^(\s*)(if|elif|else|for|while|def|class|try|except`

|finally|with)(\s+.*?)(?<!\|):(?=\s*\$) – для поиска, r'\1\2\3' – для создания ошибки.

GigaChat предоставил следующие выражения: r'^\s*(if|elif|for|while|def|class)\s+.*:' – для поиска, r'\1' – для создания ошибки.

Alice AI предоставила следующие выражения: r'^(\s*)(if|elif|else|for|while|def)\b.*\s*\$' – для поиска, r'\1\2' – для создания ошибки.

Для проверки эффективности данных регулярных выражений был написан небольшой код на Python, показавший, что в одном и том же исходном коде с помощью регулярных выражений от GigaChat и Alice AI было сделано 8 мутаций, от DeepSeek-V3 – 10. Эксперимент показал, что все ошибки, созданные с помощью данных регулярных выражений, соответствовали ожидаемому результату[3].

Таким образом, предложенный подход, основанный на формализованных промптах и таксономии ошибок, обеспечивает воспроизводимую генерацию синтаксических дефектов кода с помощью LLM, что подтверждается экспериментальным сравнением моделей, в котором наибольшую эффективность мутаций продемонстрировала модель DeepSeek-V3.

Разработанная таксономия промптов и метод формализации запросов к LLM позволяют генерировать синтаксически некорректные фрагменты кода, что открывает возможности для автоматизации учебных задач по отладке и объективной диагностики компетенций будущих программистов в условиях трансформации профессиональной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Davis J. C. SoK: A Literature and Engineering Review of Regular Expression Denial of Service (ReDoS) / J. C. Davis, C. A. Coghlan, F. Servant, D. Lee. – DOI 10.48550/arXiv.2406.11618. – Текст : электронный // arXiv.org : [сайт]. – 2025.

2. Соколова М. Е. ChatGPT и промпт-инжиниринг: о перспективах внедрения генеративных нейросетей в науку / М. Е. Соколова. – Текст : электронный // Научно-образовательные исследования. – 2024. – № 1. – С. 92-109.

3. Фридл Дж. Регулярные выражения / Дж. Фридл ; перевод с английского Е. Матвеева, А. Киселева ; научный редактор Б. Попов. – 3-е издание. – Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2008. – 608 с. – ISBN 978-5-93286-121-9.

4. Яшина И. А. Искусственный интеллект в обучении программированию студентов педагогического вуза / И. А. Яшина. –

УДК 697.222

Удовиченко В.М.

Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р. техн. наук, проф.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ЖИЛОМ ДОМЕ С УЧЕТОМ МЕЖКВАРТИРНЫХ ПЕРЕТОКОВ ТЕПЛОТЫ

В настоящее время цель исследований в области анализа тепловых потерь и методах их компенсации заключается в разработке и обосновании методики повышения точности расчета тепловой нагрузки на системы отопления и вентиляции посредством учета нестационарности тепловых режимов и локальных неоднородностей внутри объектов расчета.

Актуальность исследований в сфере компьютерного моделирования теплоэнергетики обусловлена повышением точности расчёта тепловой нагрузки с учётом нестационарности и неоднородностей, расширением применимости моделей при переменных режимах отопления, ростом энергоэффективности и созданием методологических основ для стандартов оценки тепловой нагрузки в зданиях и промышленных объектах.

Анализ источников. Разработке математических моделей посвящено множество научных трудов. Автор работы [1] ставит задачу оценки статического теплового потока через стены и перекрытия. Исследуя процессы передачи тепловой энергии через перекрытия выясняется, что процесс отопления квартиры или комнаты с учетом внутренних и внешних возмущающих воздействий характеризуется как стохастический, и значения параметров математической модели определяются с использованием реальных данных за отопительные периоды. Математическое моделирование начинается с составления уравнений теплопередачи, которое является математическим описанием процесса.

О методике сбора данных для математического моделирования, так же оценке возможных программы для моделирования идет речь в научной статье [2], так моделирование проводится с использованием фактически зарегистрированных или слегка измененных погодных

данных за один год, так называемого "базового года". Так же необходимо определить пиковые значения нагрузки для этого нужно выполнить многолетнее моделирование, требующее огромных вычислительных затрат. В настоящее время является наиболее актуальным построение моделей ARMA, поскольку она широко используется в области анализа временных рядов, может быть применена для моделирования стохастической составляющей.

Целью научной работы является разработка программы автоматического определения температурных режимов помещений на базе математической модели с возможностью адаптации и интеграции в АТП.

Как показано в работе [3] алгоритмы управления для адаптивного управления должны удовлетворять требованию устойчивости, быстродействию и точности. Управляющие параметры определяются по значениям тепловой нагрузки.

В предложенной модели рассчитываются тепловые потери в здании с учетом межквартирных перетоков. Идеальная модель для "малого дома" определяет температуру без учета отключенных квартир, тогда как более реалистичная модель для "большого дома" учитывает систему отопления и фактическое теплopotребление, включая отключенные квартиры. В результате получена зависимость показаний счетчика от доли отключенных квартир [4]. Программа расчёта тепловых потерь должна быть гибкой и учитывать тепловые перетоки между помещениями. Эта проблема особенно актуальна для новых или реконструированных зданий, где на отопление квартир приходится менее 40% затрат, так как основной расход — горячая вода. В будущем, с изменением строительных норм, эта проблема станет еще более значительной [5].

Модель основана на зонировании, где объект делится на зоны с учетом тепловых и вентиляционных потерь, солнечного тепла, а также теплопритока от людей и оборудования. Там же учитывается теплообмен между квартирами, а климатические условия берутся из датских данных по среднегодовым значениям [6]. Основу математической модели составляет система уравнений, составленная по общему тепловому балансу помещений без учета расходов на вентиляцию [7].

Методология исследования. Объектом исследования является многоквартирный одноподъездный дом в г. Белгороде, подключенный к системе централизованного теплоснабжения и оснащенный общедомовым и индивидуальными приборами учета тепловой энергии

со следующими характеристиками. На рисунке 1 приведена типовая планировка дома (3-17 этажи).

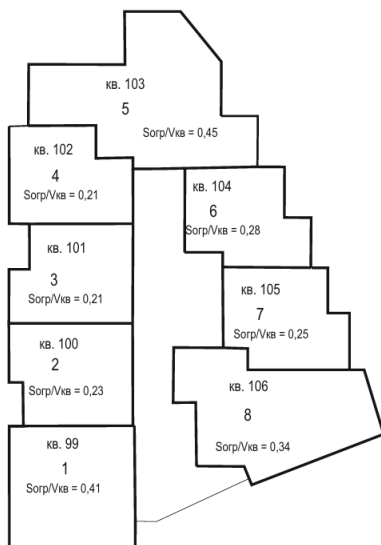


Рис.1. Планировка типового этажа дома

Математическая модель представляет собой систему управлений теплового баланса помещений (1). Содержит упрощения в виде отсутствие математической взаимосвязи с общим помещением (коридором) поэтому планировка для расчётной модели представлена на рисунке 2.

$$\sum Q_{\text{ист.}} = \sum Q_{\text{расх.}} \quad (1)$$

Зависимость количества теплоты от конструкционных характеристик помещения записана в (2).

$$Q_{\text{расх}} = A \cdot \frac{\Delta t}{R} \quad (2)$$

В выражение (2) входят параметры A – площадь ограждающих конструкций; Δt – разность температур между отапливаемым помещением и внешней средой; R – термодинаическое сопротивление ограждающих конструкций. Используемая программой СЛАУ имеет следующую математическую форму

$$\sum_j a_{ij} t_j = Q_i - b_i \quad (3)$$

В рамках принятой модели индексы i и j варьируются в пределах от 1 до 8. Данный диапазон определяется геометрией исследуемого объекта: двухэтажным зданием с четырьмя помещениями на этаже.

Так же создаем матрицу границ помещений для более гибкой постановки задачи теплоснабжения.

Таблица 1 – Задание границ помещений

Помещение/сосед	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	0	0	0	1
2	1	0	1	0	0	0	1	0
3	0	1	0	1	0	1	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0
6	0	0	1	0	1	0	1	0
7	0	1	0	0	0	1	0	1
8	1	0	0	0	0	0	1	0

Установка начальных условий следующая: площадь внутренних перекрытий ($A_{мк}$) 15 м²; площадь внешних стен ($A_{ст}$) 15 м²; Площадь чердачных и подвальных перекрытий ($A_{под}$, $A_{чер}$) 25 м²; термодинамическое сопротивление внутренних перекрытий ($R_{мк}$) 0,5 Вт/м²; термодинамическое сопротивление внешних стен, чердачных и подвальных перекрытий ($R_{ст}$, $R_{черд}$, $R_{под}$) 3,0 Вт/м²; Температура наружного воздуха (t_n) -20,0°C.

Алгоритм является гибко масштабируемым, поскольку размерность матрицы коэффициентов СЛАУ определяется по количеству помещений. На рисунке 2 представлен результаты работы программы при изменении тепловой энергии в помещениях двух помещениях на разных этажах.

=== МАТРИЦА ТЕМПЕРАТУР ===											
Этаж	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	Cp. t	Диапазон	
1	22.0553	23.3491	19.0187	19.9776	21.064	23.0604	24.2734	22.2976	21.9 °C	19.0:	24.3 °C
2	21.8	23.1	18.8	20.5	21.4	23.0	24.1	22.1	21.8 °C	18.8:	24.1 °C
3	22.4	24.3	22.5	15.5	19.9	23.7	24.7	22.5	21.9 °C	15.5:	24.7 °C
4	22.8	24.9	23.1	14.6	19.4	24.0	25.1	22.8	22.1 °C	14.6:	25.1 °C
5	22.4	23.6	18.7	19.0	20.5	23.0	24.9	22.8	21.9 °C	18.7:	24.9 °C
6	21.9	23.8	24.0	21.8	21.7	23.3	19.6	20.8	22.1 °C	19.6:	24.0 °C
7	19.6	18.4	22.7	21.5	21.7	23.5	22.1	20.4	21.2 °C	18.4:	23.5 °C
8	22.1	24.6	25.0	22.6	22.6	25.1	24.9	22.3	23.6 °C	22.1:	25.1 °C
9	23.1	25.8	25.9	23.2	23.2	25.9	25.8	23.1	24.5 °C	23.1:	25.9 °C
10	23.4	26.2	26.2	23.5	23.5	26.2	26.2	23.4	24.8 °C	23.4:	26.2 °C

Рис. 2. Работа программы при неравномерном отоплении

Математическая модель можно применять в устройствах интеллектуального энергосбережения тем самым улучшив их работу, благодаря гибкому алгоритму который гибко оценивает затраты объекта [8].

В заключении следует сказать, что разработанная математическая модель способна с наибольшей точностью оценить количество теплоты необходимое для подачи в помещение с целью поддержания оптимального температурного режима. Программа основана на тесной интеграции уравнений теплопередачи и конструктивной взаимосвязи помещений жилого дома, реализует автоматический расчёт температур в каждом помещении и способна моделировать неравномерное распределение тепловой энергии между помещениями и этажами.

Так же математическая модель может быть доработана в будущем. В нее следует добавить модуль прогнозирования теплотребления здания в зависимости от изменения внешних условий, сделать более гибким алгоритм расчёта с возможностью корректировки конструктивных постоянных, добавить возможность оперативной адаптации под изменение условий эксплуатации здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. J. Pakanen, Estimating static heat flows in buildings for energy allocation systems / J. Pakanen, S. Karjalainen // *Energy and Buildings*. – 2006. – С. 1044-1052.
2. H. Yoshida, An ARMA Type Weather Model for Air-conditioning, Heating and Cooling Load Calculation / H. Yoshida, T. Terai // *Energy and Buildings*. – 1991. – С. 625-634.
3. R. Isermann, Parameter adaptive control algorithms - A tutorial /R. Isermann // *Automatica*. – 1982. – С. 513-528.
4. Бурцев, С.В. Модель расчёта распределения тепловой энергии, поставляемой ЦТС ТЭЦ между подключёнными и частично отключёнными потребителями, находящимися в одном здании / С.В. Бурцев // *Meridian ingineresc*. – 2009. - № 1. – С.50-55
5. J. Rose, Distribution of heating costs in multi-story apartment buildings / J. Rose, J. Kragh // *Energy Procedia*. – 2017. – С. 1012-1017.
6. Nielsen, Individual energy savings for individual flats in blocks of flats / Nielsen, Anker; Rose, Jørgen // *10th Nordic Symposium on Building Physics 15–19 June 2014 Lund, Sweden: Full papers*. – 2014. – С. 1205-1212.
7. Апсаямова, Я.И. Определение расхода энергетических ресурсов в зданиях / Я.И. Апсаямова, П.Н. Тарасюк, П.А. Трубаев //

Образование, наука, производство. – Белгород: БГТУ, 2015. – С. 1183-1187.

8. Ширрима, К.Ж. Обзор современных информационно-аналитических инструментов в области энергоэффективности и энергосбережения / К.Ж. Ширрима, П.А. Трубаев // Научные технологии и инновации. – Белгород: БГТУ, 2016. – С. 110-114.

УДК 62-932.2

Усачев Д.В., Голикова Д.О., Рябухин Е.И.
Научный руководитель: Волошкин А.А., ст. преп.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛА ФАКЕЛА ПУЛЬВЕРИЗАТОРА

Процесс нанесения покрытий краскопультами — это междисциплинарная задача на стыке гидродинамики, аэродинамики двухфазных потоков и прецизионного машиностроения. В её центре находится управление углом факела, который определяет производительность, качество покрытия, равномерность толщины пленки и эффективность переноса материала.

Проблема инженерно-технического анализа формирования угла факела краскопульты — отсутствие системного понимания связи между аэродинамикой в каналах головки и геометрией факела, что ведёт к неустойчивости распыла и снижению качества покрытия.

Целью данной работы является, анализ факторов, определяющих динамику угла распыла, и выбор оптимального метода его регулирования для повышения равномерности и качества распыления.

Наиболее распространён метод геометрического регулирования угла распыла — изменение проточной части сопла (формы отверстия, угла дефлектора или конфигурации завихрителя). Вариация угла напрямую перераспределяет импульс капель: увеличение угла повышает поперечный импульс (расширяя факел), но снижает продольный (уменьшая дальность струи).

Принцип работы пневматического краскопульты основан на преобразовании потенциальной энергии сжатого воздуха в кинетическую энергию потока, разрушающего струю жидкости. Угол распыла формируется балансом сил между центральным и боковыми потоками воздуха, которые задают вектор скорости каплям в зоне

первичной атомизации. Данный процесс подчиняется уравнению Бернулли, связывающему давление и скорость потока:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}$$

где P -давление, ρ -плотность жидкости, v -скорость потока, h -высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости, g -ускорение свободного падения

Давление является ключевым динамическим фактором оперативного управления углом факела в краскопультах, где выделяют входное давление, давление атомизации и давление формирования факела. Установлена прямая зависимость: увеличение давления воздуха на отверстия в «рогах» усиливает сдавливание центральной струи, что расширяет факел в перпендикулярной плоскости (Рис.1). Профессором Воскресенским А.М. экспериментально подтверждено, что рост давления формирования с 0 до 0,9 бар может увеличить ширину пленки лакокрасочного покрытия со 100 до 264 мм. Однако процесс имеет предел: после достижения порогового значения наступает насыщение, и дальнейшее повышение давления перестает влиять на геометрию факела из-за ограничений аэродинамической деформации струи.

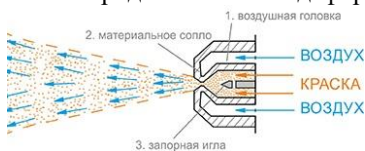


Рис. 1 Схема рогов

Реологические свойства материала (вязкость, плотность, поверхностное натяжение) напрямую определяют настройки краскопульта и геометрию факела. Существует обратная зависимость: угол подачи материала уменьшается с ростом вязкости и поверхностного натяжения.

$$\frac{1}{\sin \alpha} = \frac{g}{\sigma(1 + \cos \theta)} \times \frac{m}{2r}$$

где α -критический угол скатывания (угол наклона поверхности), g -ускорение свободного падения, σ -поверхностное натяжение жидкости, θ - равновесный угол смачивания, m -масса капли, r -радиус капли.

Вязкость, как мера внутреннего трения, противодействует растяжению жидкости в тонкую пленку. Высоковязкие материалы (например, эпоксидные грунты) требуют большей энергии для атомизации и при стандартных настройках формируют узкий факел, так как боковые потоки воздуха не способны эффективно растянуть плотную струю. Низковязкие же материалы (лаки, растворители) легко

деформируются, образуя широкие факелы даже при умеренном давлении. При этом в пневматических системах угол факела является результатом сложного взаимодействия воздушных и жидких потоков, тогда как в безвоздушных он жестко задается геометрией эллипсовидного сопла.

Конструктивные отличия систем HVLP, LVLP и Conventional показаны на рисунке 2 и описаны в таблице 1.



Рис. 2 Конструктивные отличия систем

Таблица 1–Конструктивные отличия систем

Тип системы	Инженерная концепция	Характеристики угла подачи	Эффективность переноса
Конвенциональная	Высокое давление (3-4 бар) для атомизации	Стабильный, широкий угол, но высокая турбулентность и риск рикошета.	~35-45%
HVLP	Большой объем воздуха при низком давлении (<0.7 бар на выходе)	Широкий факел, «мягкое» распыление капель, чувствителен к вязкости.	~65-85%
LVLP	Оптимизированные каналы для низкого объема и давления	Более узкий факел по сравнению с HVLP, лучше работает с малыми компрессорами.	~70-80%

Дистанция распыления и геометрический угол. При слишком близком расстоянии (менее 10 см) формируется узкое пятно с высокой концентрацией материала, что ведет к подтекам и отскоку краски;

оптимальная дистанция (15–25 см) обеспечивает расчетную ширину факела и равномерное распределение слоя; чрезмерное удаление (более 30 см) вызывает расширение пятна, падение концентрации пигмента и коллапс факела, в результате чего краска оседает в виде сухой пыли, не формируя сплошного покрытия. Важно отметить, что самое равномерное покрытие получается, когда краскопульт расположен под 90 градусов к поверхности.

С увеличением расстояния сверх рекомендованного «фактический» угол распыления начинает уменьшаться из-за аэродинамического сопротивления, которое стягивает края факела к центру (эффект схлопывания). Именно поэтому расчет угла распыления для большинства промышленных форсунок производится на стандартном расстоянии 12 дюймов (30.5 см).

Зависимость среднего размера (SMD) капель к давлению выглядит как: $SMD \sim \frac{1}{\sqrt{P}}$ (Рис. 2).



Рис. 3 Зависимость между средним размером капли и давлением

Укрывистость находится в нелинейной зависимости от давления воздуха, определяемой балансом между качеством атомизации и эффективностью переноса материала. Давление должно быть минимально достаточным для качественного дробления струи: избыток ведет к утончению слоя и потерям на overspray, недостаток — к крупным каплям и локальным просветам подложки. Математически укрывистость пропорциональна произведению эффективности переноса на качество распыла, которое обратно пропорционально корню из давления. Оптимум достигается в точке баланса между мелкодисперсностью факела и минимизацией потерь материала.

Подводя итог инженерному анализу, можно констатировать, что угол подачи краскопульта не является статической величиной, а представляет собой динамический результат взаимодействия множества переменных.

Для достижения оптимальных результатов в инженерной практике необходимо обеспечивать строгую синергию между характеристиками ЛКМ и настройками оборудования. Эволюция систем от конвенциональных к HVLP и далее к роботизированным комплексам с цифровым управлением давлением подтверждает, что прецизионное управление углом факела остается ключевым вектором развития технологий распыления в обозримом будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов В. Опыты и самоделки по физике / В. Смирнов // Государственное издательство детской литературы. – 1955. – 112 с.
2. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев // Москва: Изд-во. Астрель. – 2001. – 336 с.
3. Тимошенко Т. И. Физико-химические свойства сырьевых и техногенных материалов / Т. И. Тимошенко, Т. Е. Головизнина, В. К. Классен. // Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, – 2016. – 103 с.
4. Витман Л. А. Распыливание жидкости форсунками / Л. А. Витмана, Б. Д. Кацнельсона, И. И. Палеева. // Москва: Государственное энергетическое издательство. – 1962. – 265 с.
5. Пажи Д. Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д. Г. Пажи, В. С. Галустова // Москва: Изд-во. Химия. – 1984. – 129 с.

УДК 624.012.45.046

Фоменко О.С.

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

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЖАТЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОБОЙМАМИ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА

В наши дни стоит важный вопрос о повышении надежности и долговечности зданий. Основные элементы каркаса, подвергаясь в процессе эксплуатации различным разрушающим факторам, теряют

свою несущую способность, ослабевают и нередко достигают аварийного состояния.

Технология усиления конструкций углеволокном является на сегодняшний день наиболее современным методом их ремонта и восстановления. Данное усиление позволяет проводить реконструкцию элементов в кратчайшие сроки, является более экономически целесообразной по сравнению с традиционными методами и существенно увеличивает срок службы конструкций [1].

Эксплуатационные характеристики усиленного сжатого элемента значительно разнятся с характеристиками обычного сжатого элемента. Это объясняется тем, что в момент усиления, элемент уже испытывает нагрузку. В результате, в пределах поперечного сечения усиленного элемента материал демонстрирует различные деформационные и прочностные параметры.

Оценка несущей способности колонны до проведения ремонтных работ и усиления базируется на данных, полученных в ходе диагностических исследований. Эти исследования включают в себя точное определение габаритов всей конструкции и ее составных частей, а также установление прочностных характеристик, имеющихся бетона и арматуры, принимая во внимание степень износа.

$$N = N_b + N_s < N^*, \quad (1)$$

$$N = \eta \varphi R_b (A_g - A_s) + R_{sc} A_s, \quad (2)$$

где N^* - осевая нагрузка на колонну; η - коэффициент условия работы ($\eta = 1$ при $h > 200$ мм), φ - коэффициент, учитывающий гибкость и характер армирования. В большинстве случаев при работе колонн возникает явление продольного изгиба, при этом несущая способность колонны уменьшается.; R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию; A_g - площадь сечения колонны, включая площадь бетона и арматуры; R_{sc} - расчетное сопротивление арматуры сжатию; A_s - площадь поперечного сечения арматуры.

Несущая способность колонны после усиления обоймой из углеволокна N_y зависит от формы колонны и принятой схемы усиления. Таким образом, прочность колонны на сжатие усиленного обоймой бетона R_{bo} может быть определена по одной из двух зависимостей:

$$R_{bo} = R_b + \beta_{ef} \beta_f \beta_l \sigma_r, \quad (3)$$

$$R_{bo} = \beta_1 \beta_2 \sigma_r, \quad (4)$$

где β_{ef} - коэффициент эффективности охватывающего усиления, $\beta_{ef} = 2$ для круглой и прямоугольной или квадратной форм колонн; β_f - коэффициент, учитывающий форму колонны, для круглых колонн $\beta_f = 1$, а для остальных форм определяется по формулам, которые будут приведены ниже; β_l - коэффициент, учитывающий сплошность усиления колонны по ее длине; σ_r - радиальное напряжение в бетоне; β_1 - повышающий коэффициент, учитывающий деформирование бетона при трехосном сжатии. Для его определения используется модифицированная формула:

$$\beta_1 = 1,25 \left(1,8 \sqrt{1 + 7,94 \frac{\sigma_{r,max}}{R_b}} - 1,6 \frac{\sigma_{r,max}}{R_b} - 1 \right), \quad (5)$$

где $\sigma_{r,max}$ - максимальное радиальное напряжение в бетоне после усиления обоймой из композиционных материалов; β_2 - понижающий коэффициент, учитывающий изменение уровня радиальных напряжений в бетоне в зависимости от формы колонны. Данная величина определяется по следующей формуле:

$$\beta_2 = 1 + \left[1,4 \frac{\sigma_{r,min}}{\sigma_{r,max}} - 0,6 \left(\frac{\sigma_{r,min}}{\sigma_{r,max}} \right)^2 - 0,8 \right] \sqrt{\frac{\sigma_{r,max}}{R_b}}. \quad (6)$$

где $\sigma_{r,min}$ - минимальное радиальное напряжение в бетоне после усиления обоймой из композиционных материалов;

Наиболее эффективным является усиление колонн круглого сечения по всей их длине, так как в таком сечении отсутствуют концентраторы напряжений, и поперечные деформации бетона равномерно воспринимаются обоймой.

Усиление колонн прямоугольного или квадратного сечения осложняется наличием углов, которые являются концентраторами напряжений и создают в сечении неусиленные области. В этом случае углы колонны закругляют радиусами $r_c = 15-25$ мм [2]. Неусиленные области бетона ограничены арками с углом наклона 45° к грани колонны. Эффективность усиления квадратных и прямоугольных колонн примерно одинакова и составляет около 50% от усиления круглых колонн [3]. Активная область усиления колонн обоймами из углеволокна показана на Рис. 1.

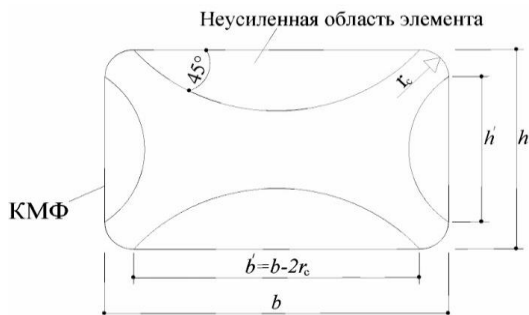


Рис. 1. Активные зоны при усилении прямоугольных сечений колонн

Полная площадь сечения бетона, не охваченного усилением, определяется из условия, что ее граница в силу арочного эффекта в теле колонны очерчена по параболе:

$$A_{bu} = \frac{b^2 + h^2}{3}. \quad (7)$$

Площадь ядра бетона прямоугольной или квадратной колонны, в котором действуют повышенные радиальные напряжения и в котором достигается максимальная эффективность усиления рассчитывается по формуле:

$$A_{ef} = A_g - A_s - A_{bu} - (4 - \pi)r_c^2. \quad (8)$$

Значения коэффициента β_f , зависящего от формы колонны, определяются по следующим формулам:

для квадратной или прямоугольной колонны

$$\beta_f = \frac{hA_{ef}}{b(A_g - A_s)}; \quad (9)$$

для круглой колонны

$$\beta_f = \frac{A_{ef}}{A_g - A_s}; \quad (10)$$

При усилении колонн с некруглым поперечным сечением, в частности, имеющих прямоугольную форму, наблюдается неравномерное распределение радиальных напряжений σ_r . Напряжения

будут отличаться вдоль короткой и длинной сторон. Для точного анализа применяются как усредненные показатели радиальных напряжений, так и их максимальные (экстремальные) значения, особенно актуальные для прямоугольных конструкций:

$$\sigma_r = \frac{2R_{co}t_c}{\sqrt{b^2 + h^2}}; \sigma_{r,max} = \frac{2R_{co}t_c}{h}; \sigma_{r,min} = \frac{2R_{co}t_c}{b}; \quad (11)$$

где h и b - соответственно короткая и длинная стороны прямоугольной колонны; R_{co} - расчетное сопротивление растяжению обоймы из композиционного материала, которое определяется по формуле:

$$R_{co} = R_f V_f + R_m V_m, \quad (12)$$

где R_f - нормативная прочность на растяжение композита; V_f - объемное соотношение в композите волокон; R_m - прочность на растяжение отверждающего полимера; V_m - объемное соотношение в полимере волокон.

После достижения предельного состояния, кривая "напряжение - деформация" для бетона, армированного композитной обоймой, демонстрирует нисходящую ветвь. Это означает, что воздействие бокового давления со стороны внешней обоймы становится незначительным. Следовательно, прочность бетона после такого усиления R_{bo} будет лишь незначительно отличаться до усиления R_b . В расчетном плане этот аспект учитывается следующим образом: несущая способность сжатой колонны со случайным эксцентриситетом, усиленной углеродным волокном, рассчитывается по формуле:

$$N_y = \delta R_b A_{bu} + R_{bo} A_{ef} + R_s A_{sc}. \quad (13)$$

В случае колонн с круглым поперечным сечением, первый член данного уравнения не применяется. Это обусловлено тем, что вся площадь бетонного сечения, заключенного в обойму, подвергается полному и эффективному усилению. Для колонн же с прямоугольным или квадратным сечением, напротив, часть площади поперечного сечения остается без усиления [4].

Композитные материалы на основе углеродного волокна зарекомендовали себя как эффективное средство для усиления строительных сооружений. Наполнитель из углеродного волокна обеспечивает материалу высокий модуль упругости, значительную

прочность и ограниченную деформативность. Отличительными чертами данного композитного решения являются его малый вес и высокое удельное соотношение прочности к массе, что делает его идеальным кандидатом для армирования конструкций [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагнер, Е.С. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами / Е.С. Вагнер // Достижения вузовской науки. – 2015. – № 15. – С. 119-123.
2. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. – М.: ЦНИИСК, 2014. – 18 с.
3. Чернявский, В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / В.Л. Чернявский, В.А. Клевцов, Н.В. Фаткуллин, Ю.Т. Хаютин, Е.З. Аксельрод // М.: ООО «ИнтерАква, 2006. – 48 с.
4. Шилин, А.А. Ремонт и усиление железобетонных конструкций / А.А. Шилин, М.В. Зайцев, В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов // М.: Издательство «Стройиздат», 2007. – 94 с.
5. Смоляго, Г. А. Прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов, усиленных углепластиком / Г. А. Смоляго, Я. Л. Обернихина // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2022. – №4. – С. 25–33.

УДК 674.07

Хаялиев О.В., Красильникова К.А., Скирдин Д.С.

Научный руководитель: Руденко О.Л., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет
им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БРУСЬЕВ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ

Древесина, являясь одним из древнейших строительных материалов, обладает рядом неоспоримых преимуществ: экологичность, низкая теплопроводность, высокая удельная прочность. Однако существенным недостатком деревянных балок и брусьев является анизотропия свойств, наличие природных пороков (сучки, трещины) и подверженность деструкции под воздействием внешней

среды. Традиционные методы усиления деревянных конструкций металлическими накладками часто приводят к утяжелению конструкции и являются источником коррозии. В связи с этим всё более актуальным становится использование композитных материалов, в частности стекловолокна (стеклопластика), для внутреннего и внешнего армирования деревянных элементов.

Анализ современных исследований позволяет выделить три основных метода внедрения стекловолокна в структуру деревянного бруса.

Первый метод - наружное армирование. Заключается в наклейке слоев стеклоткани или сетки на поверхность бруса с использованием эпоксидных или полиэфирных смол. Данный метод эффективен для восстановления несущей способности изношенных балок, но подвержен механическим повреждениям и воздействию ультрафиолета.

Второй метод - внутреннее армирование в заранее подготовленные пазы. В теле бруса фрезеруются канавки, в которые укладываются жгуты или ленты из стекловолокна, после чего полость заполняется связующим. Это позволяет скрыть арматуру от внешних воздействий и сохранить эстетичный вид древесины.

Третий, наиболее технологически сложный метод - послойное армирование при изготовлении клееного бруса. На этапе склейки ламелей (досок) между ними прокладывают слой стеклоткани, пропитанной смолой. Это создает композитный материал с улучшенными характеристиками по всей длине изделия.

При изгибе балки наибольшие растягивающие напряжения возникают в нижней (растянутой) зоне. Поскольку модуль упругости стеклопластика ($E_{ст} = 40-50$ ГПа) значительно выше модуля упругости древесины вдоль волокон ($E_{др} = 10$ ГПа), армирующий элемент принимает на себя основную часть растягивающих усилий, разгружая древесину.

Ключевым фактором, определяющим совместность работы материалов, является прочность клеевого соединения на сдвиг по границе «стеклопластик-древесина». Эффективность работы конструкции описывается коэффициентом армирования μ , представляющим собой отношение площади поперечного сечения стеклопластика $A_{ст}$ к площади сечения древесины $A_{др}$. Расчет приведенной площади сечения производится через коэффициент приведения:

$$n = \frac{E_{ст}}{E_{др}} \quad (1)$$

где n - коэффициент приведения, $E_{ст}$ - модуль упругости стеклопластика, $E_{др}$ - модуль упругости древесины.

Тогда приведенная площадь сечения составляет:

$$A_{пр} = A_{др} + n * A_{ст} \quad (2)$$

Эксперименты, проведенные на образцах соснового бруса сечением 100x100 мм и длиной 1500 мм, показали устойчивый прирост несущей способности. Образцы были разделены на три группы: контрольные (без усиления), с наружным армированием углеродной тканью и с внутренним армированием стекложгутами в пазах.

Результаты испытаний на статический изгиб представлены в Таблице 1. Армирование стекловолокном не только повысило предел прочности, но и изменило характер разрушения. Если неармированные балки разрушались хрупко (мгновенный разрыв волокон в растянутой зоне), то армированные образцы перед разрушением показывали значительные прогибы и предварительное потрескивание, что говорит о повышении вязкости разрушения.

Таблица 1 – Сравнительный анализ прочности образцов

Тип образца	Разрушающая нагрузка, кН	Относительный прирост, %	Характер разрушения
Без армирования	28,5	0,0	Хрупкий (разрыв)
С наружным слоем ткани	36,2	27,0	Пластичный (сдвиг)
Со жгутами в пазах	41,8	46,7	Пластичный (смятие)

Наибольший прирост прочности (до 47%) показали образцы с внутренним армированием жгутами. Это объясняется лучшим сцеплением арматуры с массивом древесины за счет развитой поверхности контакта в пазу.

Сравнивая рассмотренные методы, можно сделать следующие выводы:

Наружное оклеивание тканью технологически просто и не требует сложного оборудования. Однако оно эффективно лишь при условии идеальной подготовки поверхности древесины и защиты самого композита. Внутреннее армирование требует фрезерования, но

позволяет усиливать элементы, работающие в условиях агрессивной среды (например, в открытых конструкциях).

С экономической точки зрения использование стекловолокна оправдано: стоимость стеклопластика ниже стоимости углепластика, а прирост несущей способности позволяет использовать брус меньшего сечения, экономя древесину. Технология особенно перспективна при производстве клееного бруса для большепролетных конструкций.

Подводя итоги, можно сказать, что армирование деревянных брусьев стекловолокном является эффективным методом повышения их механических характеристик. Наибольшую эффективность показывает метод внутреннего армирования жгутами, обеспечивающий прирост прочности до 47% и изменение характера разрушения в сторону пластичного. Полученные экспериментальные данные подтверждают корректность теоретических расчетов по приведенным сечениям. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение ползучести таких композитов и их долговечности под нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писанная, В. В. Армированные деревянные конструкции / В. В. Писанная, О. Л. Руденко // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. - С. 117-121

2. Овсянников, С. И. Современные тенденции использования древесины в архитектурных конструкциях / С. И. Овсянников, О. Л. Руденко // Инновационное проектирование в современном обществе: Сборник материалов Международной объединенной научно-практической конференции, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. - С. 105-117.

3. Руденко, О. Л. Использование древесины в строительстве / О. Л. Руденко, Д. Скирдин // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 201-207.

4. Сальникова, А. С. Древесина как строительный материал. Физико-механические и эксплуатационные свойства: Лабораторный практикум / А. С. Сальникова, Е. С. Шорстова, С. В. Клюев. – Белгород:

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – 135 с.

5. Овсянников, С. И. Обоснование выбора полимерных армирующих материалов в производстве клеенных деревянных конструкций / С. И. Овсянников, О. Л. Руденко // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 347-352.

УДК 67.02;621.926.5

Хромых К.А., Алешкин К.К., Хохлов Д.О.

Научный руководитель: Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

КЛАССИФИЦИРУЮЩАЯ ФУТЕРОВКА ДЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Одними из путей эффективностей работы цементных мельниц является создание раскольцованных форм футеровок. Современные исследования в этой области показывают, что футеровки могут не только выполнять в барабане мельницы функцию предохранения от износа, но и активно воздействовать на характер перемещения шароматериальной загрузки: обеспечивать необходимое сцепление загрузки с броней, классифицировать мелющие тела по крупности вдоль барабана, создать пульсации в движении загрузки в поперечном сечении барабана, создать транспортирующий эффект и т. д. Разработанная в БГТУ им. В.Г. Шухова и внедренная на Белгородском цементном заводе классифицирующая футеровка, состоящая из набора конусно-ступенчатых плит, образующих расположенные вдоль оси кольцевые секции. Рабочая поверхность плит на одной половине диаметра каждой кольцевой секции наклонена в сторону загрузки, а на другой в сторону разгрузки материала, причем смежные части полуколец имеют одинаковый наклон, рабочей поверхности.

Футеровка (рис.1) барабана (1) мельницы состоит из однотипных (2) и (7). Плитами (2) образованы полукольца (3), плитами (7) полукольца (6). Рабочая поверхность (4) полуколец (3) направлена сторону загрузки, поверхность (5) полуколец (6) - в сторону разгрузки (направление движения материала показано стрелками). Смежные полукольца (3) имеют наклон в сторону загрузки, смежные полукольца

(б) сторону разгрузки. Барабан футеруется бронеплитами 2 и 7 по схеме рис.1. В положении, изображенном на рис.3, мелющие тела, находящиеся нижней части барабана на наклонных поверхностях 5 полуколец 6, образованных плитами 7, перемещаются на участках колец в сторону разгрузки, а мелющие тела, находящиеся в данный момент над загрузкой на наклонной поверхности 4 колец 3, имеющих противоположный наклон, направляются в сторону разгрузки. За счет этого на любом участке мельницы стабилизируется величина коэффициента загрузки и предотвращается скопление мелющих тел в каком-либо одном месте барабана мельницы.

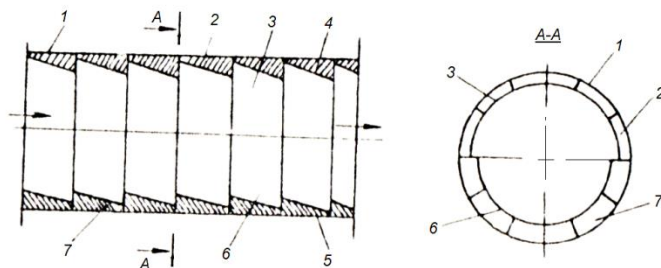


Рис. 1. Футеровка трубной мельницы:

- а - футеровки вдоль продольной оси мельницы;
б - поперечное сечение футеровки 1 – барабан; 2,7 – бронеплиты;
3,6 – полукольца; 4,5 – наклонные поверхности полуколец.

Через половину оборота барабана мельницы мелющие тела, находящиеся в нижней части барабана, по наклонным поверхностям (4) колец (3) перемещаются в противоположном (начальном) направлении загрузки, а находящиеся над загрузкой. Затем цикл повторяется.

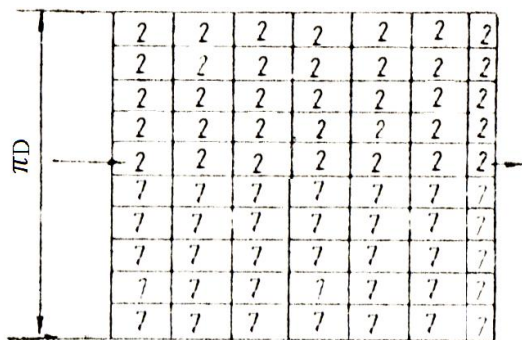


Рис. 2. Развертка барабана и схема укладки плит

Таким образом, использование футеровки создает дополнительное противоположно направленное продольное движение мелющих тел. Это исключает появление застойных зон в центральной части разгрузки. Повышаются интенсивность движения мелющих тел и эффективность процесса измельчения в сторону разгрузки.

Футеровка может устанавливаться как в сырьевых, так и в цементных мельницах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц. – М.: Машиностроение, 1965. – 184 с.

2. Дэвис Э.В. Тонкое измельчение в шаровых мельницах // Теория и практика дробления и тонкого измельчения. – Л: 1932. – С. 121-130.

3. Андреев С.Е. О внутреннем трении в шаровой мельнице // Горный журнал. - 1961. - №2 – С. 62-68

4. Несмеянов Н.П., Бражник Ю.В., Матусов М.Г., Картыгин А.В., Белоус А..С. Влияние параметров бронефутеровки с переменным коэффициентом сцепления на кинетику и эффективность процесса измельчения // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XX. – 2021. – С. 133–138.

5. Несмеянов Н.П., Белоус А..С., Денисова Е.М., Королева Л. А., Несмеянов М.Н. Интенсификация энергетического воздействия мелющих тел в цементных мельницах // Межвузовский сборник статей «Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов» – Белгород: Изд-во БГТУ. Вып. XXI. – 2022. – С. 262–266

Цветкова Е.В.

Научный руководитель: Копейкин О.Е. преп.

Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ВЫСОКОПРОЧНОГО АРБОЛИТА НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ

Использование отходов деревообработки в производстве строительных материалов сохраняет актуальность как с точки зрения ресурсосбережения, так и в контексте развития локальных производств, ориентированных на региональную сырьевую базу. В этом ряду арболит и древесно-цементные композиты представляют практический интерес благодаря сочетанию сравнительно низкой плотности и достаточного уровня прочности для ряда конструктивных решений, включая балки и перемычки, а также элементы многослойных ограждающих конструкций [4, 6, 7]. Вместе с тем устойчивое получение «высокопрочного» арболита осложняется тем, что органический наполнитель — материал статистически изменчивый: на результат влияют порода древесины, влажность, содержание экстрактивных веществ, гранулометрия, степень минерализации и способ химической обработки [3, 6, 7]. Практика показывает, что именно вариативность наполнителя часто становится главным источником разброса свойств, а при повышенной влажности наблюдается как снижение средней прочности, так и рост её статистического разброса [3, 4].

Классическая схема подбора состава (многофакторное планирование с сериями испытаний) трудоёмка и затратна, особенно для малых предприятий. В последние годы для задач «состав → свойство» применяются методы машинного обучения, в том числе искусственные нейронные сети, способные аппроксимировать нелинейные зависимости при большом числе факторов и взаимодействий [10]. Для строительных композитов такие подходы также доказали эффективность при прогнозировании прочности по технологическим параметрам [9].

Цель работы — разработать методику проектирования состава высокопрочного арболита на базе местных отходов деревообработки с использованием нейросетевой модели, позволяющей минимизировать экспериментальную стадию, сохраняя инженерную интерпретируемость и воспроизводимость результата. Методика

увязана с прикладными задачами создания конструктивных элементов и оценки их надёжности в условиях неопределённости свойств материала [1, 3].

Методика: формирование датасета, нейросетевая модель и схема оптимизации

1. Формирование базы данных

База данных составов формировалась по смешанной схеме:

- собственные экспериментальные серии, выполненные для арболита и древесно-цементных композитов, включая результаты по прочности при варьировании параметров заполнителя и технологии [3, 4, 7].

- сведения о конструктивных решениях и технологических подходах (включая защищённые результаты в форме патентов и программной реализации расчётных модулей) [2].

- материалы исследований по вероятностному анализу и неопределённости (включая р-боксы как инструмент описания диапазона вероятностей) — как методологический фон для инженерной трактовки разброса свойств [1, 7].

Итоговый датасет включал записи по составам с набором входных признаков и целевым параметром прочности при сжатии R₂₈. В качестве входных параметров (порядка 40–50 признаков) учитывались:

- характеристики заполнителя: порода (категориальный признак), средний размер фракции, доля опилок в смеси, исходная влажность, способ минерализации/модификации;

- параметры смеси: тип цемента, водоцементное отношение, дозировки добавок (пластификатор/ускоритель), наличие минеральных добавок;

- параметры формования и твердения: режим перемешивания, удельное давление уплотнения, параметры тепловлажностной обработки.

Предобработка включала:

- кодирование категориальных признаков (порода/тип обработки) методом one-hot;

- нормализацию числовых параметров (z-score);

- проверку выбросов по межквартильному размаху (с инженерной фильтрацией: исключались составы с явно нарушенными режимами формования или неполной гидратацией);

- разделение на обучающую/валидационную/тестовую выборки (70/15/15) со стратификацией по диапазонам прочности.

Блок-схему методики целесообразно разместить в конце раздела «Методика...» как визуальное резюме алгоритма.



Рис. 1. Блок-схема методики

2. Архитектура и обучение нейронной сети

Для прогноза R_{28} применялась полносвязная сеть прямого распространения (MLP):

входной слой: по числу признаков (после кодирования — порядка 47);

скрытый слой 1: 32 нейрона, активация ReLU;

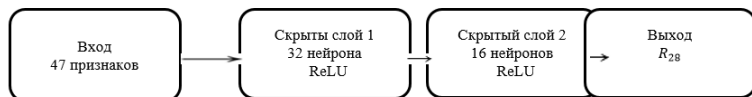
скрытый слой 2: 16 нейронов, активация ReLU;

выходной слой: 1 нейрон (линейная регрессия R_{28}).

Обучение выполнялось оптимизатором Adam при функции потерь MSE. Для стабилизации обобщающей способности использовались: L2-регуляризация, ранняя остановка по валидационной ошибке и контроль «дрейфа» метрик на тестовой части. Качество оценивалось по R^2 , RMSE и MAPE; для инженерной пригодности дополнительно контролировалась доля предсказаний, попадающих в $\pm 10\%$ от экспериментального значения (порог, практичный для первичного отбора составов).

Схему сети логично поставить сразу после описания архитектуры и параметров обучения.

Схема нейросетевой модели (MLP) для прогноза прочности арболита



Обучение: Adam, MSE; регуляризация L2; ранняя остановка; нормализация признаков

Рис. 2. Схема нейросетевой модели

3. Виртуальная оптимизация состава

Обученная сеть использовалась как «быстрый суррогат» лабораторных испытаний. По заданным ограничениям (плотность, технологичность, доступность добавок и сырья) генерировался набор

виртуальных составов, для которых рассчитывалось прогнозное значение R_{28} . Далее:

- отбирались кандидаты с максимальным R_{28} при допустимой плотности;
- проводилась проверка технологической реализуемости (по ограничению водосодержания, формуемости и режимам твердения);
- выполнялись контрольные испытания ограниченного числа лучших составов.

Отметим, что в рамках реального производства критерий оптимальности редко сводится к одной прочности: важны водопоглощение, устойчивость при переменной влажности и воспроизводимость результата. Поэтому итоговый отбор выполнялся по совокупности показателей, включая косвенный показатель конструктивного качества R/ρ , применяемый для сопоставления «прочность-плотность» [6, 7].

Результаты и обсуждение:

1. Контрольная верификация (пример оптимизированного состава)

Ниже приведён пример сопоставления прогнозных и экспериментальных показателей для одного из отобранных составов (контрольная серия - 6 образцов).

Таблица 1. Сопоставление прогнозируемых и экспериментальных показателей (пример)

Параметр	Прогноз ИНС	Эксперимент (среднее)	Отклонение
Прочность при сжатии R_{28} , МПа	10.1	9.8	-3.0%
Средняя плотность, кг/м ³	820	805	-1.8%
Водопоглощение за 24 ч, %	22.0	23.5	+6.8%
Коэффициент качества $R/\rho \cdot 10^3$	12.3	12.2	-0.8%

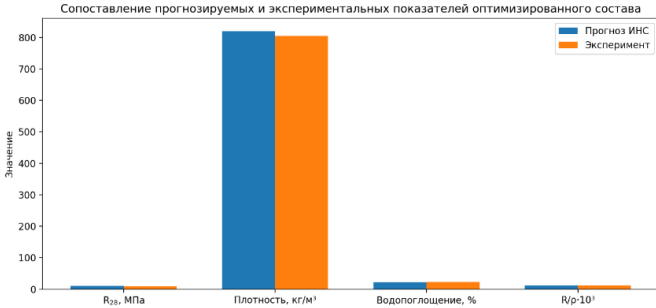


Рис. 3. Сопоставление прогнозируемых и экспериментальных показателей

2. Интерпретация и практические выводы по методике

Полученная точность прогноза достаточна для инженерной задачи «сужения поиска»: нейросеть не заменяет испытания, но резко сокращает число кандидатов, которые требуется проверять в лаборатории. Наиболее заметный эффект методики проявляется при работе с местным сырьём, где изменчивость заполнителя приводит к «дрейфу» прочности от партии к партии. В таких условиях полезно не только предсказывать R_{28} , но и фиксировать технологические параметры, наиболее чувствительные к колебаниям сырья: исходную влажность заполнителя, режим минерализации и водоцементное отношение.

С инженерной позиции важен ещё один аспект: высокопрочный арболит предполагает выход на диапазоны прочности, при которых критичными становятся расчётные вопросы применения материала в изгибаемых элементах и обеспечении надёжности конструкций [1, 4, 5]. Поэтому методика подбора состава должна быть согласована с последующим расчётным контуром (оценка прочности, деформативности, учёт неопределённости), включая вероятностные подходы и методы описания неопределённости типа р-боксов [1].

Разработана методика проектирования состава высокопрочного арболита на основе местных отходов деревообработки, объединяющая экспериментальные данные и нейросетевое прогнозирование прочности при сжатии R_{28} .

Предложен практический алгоритм «данные → обучение модели → виртуальный отбор → лабораторная проверка», позволяющий существенно сократить объём дорогостоящих испытаний при сохранении инженерного контроля качества.

На примере контрольного состава показано удовлетворительное согласование прогнозных и экспериментальных показателей, что подтверждает применимость подхода для первичного отбора составов и настройки технологических режимов.

Методика может использоваться как часть более общего контура разработки конструктивных элементов из арболита и древесно-цементных композитов, включая последующую проверку надёжности и оценку неопределённости свойств материала [1, 3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Basheer, I.A. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application / I.A. Basheer, M. Hajmeer // Journal of Microbiological Methods. — 2000. — № 43(1). — P. 3–31.

2. Соловьев, С.А. Вероятностный анализ надежности армированных балок из древесно-цементного композита / С.А. Соловьев, Л.С. Шевцов, А.А. Соловьева // Строительство и реконструкция. — 2025. — № 1 (117). — С. 60–71.

3. Шевцов, Л.С. Расчет предельной нагрузки балки из армированного арболита / Л.С. Шевцов, С.А. Соловьев // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024688971. — 03.12.2024. — Заявка № 2024687693 от 19.11.2024.

4. Yaseen, Z.M. Predicting compressive strength of lightweight foamed concrete using extreme learning machine model / Z.M. Yaseen et al. // *Advances in Engineering Software*. — 2018. — № 115. — P. 112–125.

5. Шевцов, Л.С. Экспериментально-теоретическое исследование армированного древесно-цементного композита на изгиб / Л.С. Шевцов // В сборнике: Развитие строительной отрасли. Сборник материалов II Межрегиональной конференции. — Вологда, 2024. — С. 41–43.

6. Копейкин, О.Е. Исследование вероятности отказа стальной балки при изгибе по критерию прочности нормальных сечений / О.Е. Копейкин, Л.С. Шевцов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2024. — № 3 (25). — С. 30–33.

7. Шевцов, Л.С. Вероятностный подход в проектировании изгибаемых элементов из армированного арболита / Л.С. Шевцов, А.А. Соловьева, С.А. Соловьев // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2023. — № 2 (20). — С. 15–17.

8. Соловьев, С.А. Энергоэффективная перемычка из легкого армированного бетона на органическом заполнителе / С.А. Соловьев, А.А. Соловьева, Ю.А. Губина, Л.С. Шевцов, А.Д. Летавин // Патент на полезную модель RU 212844 U1. — 11.08.2022. — Заявка № 2021134967 от 30.11.2021.

9. Соловьев, С.А. Оперативная оценка надежности железобетонных балок и плит после пожара при неполной статистической информации / С.А. Соловьев, А.А. Соловьева, Л.С. Шевцов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2021. — № 3 (13). — С. 51–55.

10. Шевцов, Л.С. Оценка нормативной обеспеченности прочности строительных материалов с использованием распределения на основе неравенства Чебышёва / Л.С. Шевцов // В сборнике: Севергеоэкотех-2020. Материалы XXI Международной молодежной научной конференции. — Ухта, 2020. — С. 287–289.

Чаплыгин Д.Ю., Холод П.В.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПЕРСПЕКТИВЫ УМЕНЬШЕНИЯ ГАБАРИТОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ СТАНКОВ И ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРАХ

На сегодняшний день технология электроэрозионной обработки, изобретенная в начале 40х годов XX века, вызывает все больше интереса в массовом производстве сложных изделий, в которых требуется высокая точность.

Первым большим преимуществом данной технологии можно назвать отсутствие нагрева заготовки до высокой температуры, что позволяет изготавливать детали из уже закаленной заготовки, не опасаясь снижения ее твердости.

Вторым преимуществом является возможность резки любых токопроводящих материалов высокой твердости. Данная технология с легкостью позволяет резать твердосплавы, применяемые в резцах металлорежущих станков.

Для реализации технологии электроэрозионной обработки необходимы: источник электрических импульсов, диэлектрик (зачастую обычная либо дистиллированная вода), 2 электрода, одним из которых является рабочий инструмент (проволока), а другим – обрабатываемая деталь. Оба электрода погружаются в диэлектрик. При приближении электродов друг к другу на некоторое достаточно близкое расстояние происходит пробой диэлектрика с образованием плазмы температурой в несколько тысяч градусов, под воздействием которой металл обрабатываемой детали испаряется [1].

Современные станки, управляемые ЧПУ, позволяют вырезать детали очень сложной формы. Самым популярным направлением данных станков, являются станки с проволоочной протяжной системой, где электродом является перематываемая с катушки на катушку проволока (пример такого станка показан на рис. 1).



Рис. 1. Процесс вырезания шлицов в зубчатом колесе

Основным недостатком данной технологии, на данном этапе развития, являются габариты установки. Электроэрозионные станки представляют собой сложный технологический комплекс больших габаритов (не менее 2 м²) [2], что ограничивает их распространение и возможность приобретения в условиях единичного и мелкосерийного производства, мастерских, лабораторий.

Авторы данной статьи предлагают идею по разработке электроэрозионного станка, доступного для массовой эксплуатации. При уменьшении габаритов и удешевлении конструкции, устройство может использоваться в небольших научно-исследовательских центрах, что позволит ускорить их работу и увеличить потенциал по производству опытных образцов, без необходимости обращения к сторонним организациям. Примером подобного удешевленного агрегата, получившего массовое распространение, можно считать 3D принтер, построенный по технологии FDM, который в данный момент есть практически в любом исследовательском центре, для изготовления прототипов, корпусов или отдельных узлов различных устройств.

Концепт электроэрозионного станка

Поскольку для этого процесса нет необходимости в высокой жесткости (в отличие от, например, токарного станка), можно взять за основу механику и большую часть электроники от FDM 3D принтера, на рынке представлено огромное количество бюджетных предложений.

Вместо экструдера устанавливается узел, выполняющий резку материала, на котором будут расположены следующие детали:

- 1) подающая катушка;
- 2) два твердосплавных направляющих ролика;
- 3) два твердосплавных токоподающих ролика;
- 4) принимающая катушка;

- 5) система натяжения проволоки;
- 6) электродвигатели, регулирующих подачу и сматывание проволоки;

7) сопло, подающее рабочую жидкость (воду).

Заготовка располагается на перфорированном столе, под столом расположена принимающая емкость, в которую стекает вода. В днище емкости расположен штуцер, который подает воду в фильтр и впоследствии в циркуляционный насос.

Для создания регулируемых импульсов высокого напряжения, необходимо разработать плату. Данный узел является ждущим мультивибратором с каскетой конденсаторов и силовыми транзисторами. Импульсы на данную плату можно подавать с материнской платы 3D принтера, как сигнал управления шаговым двигателем экструдера, что позволит отказаться от изменения прошивки 3D принтера.

По мнению авторов, использование готовых решений позволит существенно снизить стоимость конечного устройства и создаст благоприятную почву для популяризации малогабаритных электроэрозионных станков на небольших производствах и в научно-исследовательских центрах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. История электроэрозионной технологии : сайт – URL: <https://erozia-stanki.ru> (дата обращения: 07.04.2026). – Текст : электронный.

2. Станки электроэрозионные. ГОСТ EN 12957- 2011 : сайт. – URL: <https://meganorm.ru> (дата обращения: 07.04.2026). – Текст : электронный.

ИЗМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПОМОЩИ ОБНОВЛЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Современная гражданская авиация разделилась на несколько немаловажных подсистем, основная задача которых – поддержание высокого уровня БП (безопасности полетов) [2]. ТОиР (техническое обслуживание и ремонт) систем ВС -является одной из самых обширных и трудных ячеек для контроля и поддержания определенного уровня безопасности, однако, в то же время, занимает ключевую позицию в обеспечении безаварийных полетов на коммерческих гражданских перевозках во всем мире. Огромное количество внешних факторов оказывают негативное воздействие на подсистему – включая ЧФ (человеческий фактор) [3], погода, оснащенность техническими инструментами и др. Для минимизации рисков при выполнении ТО (технического обслуживания) и экономических потерь – необходимо оптимизировать работу полетного подразделения и ИТС (инженерно-технического состава), путем внесения изменений и модернизации действующих программ по расшифровке полетной информации путем внедрения искусственного интеллекта [1].

Рассмотрим существующую схему взаимодействия (Рис. 1) инженерно-технического состава и подразделения по полетной информации и разделим взаимодействие на четыре ключевых этапа.

Этап 1 (Э1) – состоит из двух первых звеньев схемы («Отказ системы ВС или плановая проверка» и «ИТП (инженерно-технический персонал): съем данных с носителей»). Указанные звенья являются взаимосвязанными и не могут быть оптимизированы по времени. Время перехода зависит от аэропорта базирования самолета и оснащенности техническими средствами.

Этап 2 (Э2) – будет включать в себя единственное звено «цепи», расшифровка полетной информации.

Этап 3 (Э3) - этап включает в себя обработку и анализирование полученного отчета по полученным отклонениям в параметрах работы технических составляющих систем. Инженеры изучают предоставленный отчет, определяют с чем связано то или иное

отклонение и передают всю информацию инженерно-технический персонал.



Рис. 1 Схема взаимодействия инженерно-технического персонала и инженеров по полетной информации при неисправности воздушного судна

Этап 4 (Э4) – инженерно-технический персонал получив отчет с корректировками ведущих инженеров приступает к поиску и устранению неисправностей согласно руководящей документации воздушного судна (РПУН (руководство по поиску и устранению неисправностей))

Для оптимизации устранения дефекта, разложим полученную упрощенную формулу на математические составляющие (для подсчета затраченного времени), учитывая использование обновленной программы по расшифровке полетной информации (апробация и вычисление пред отказных и отказных состояний). Смоделируем ситуацию по поломке воздушного судна одной из авиационных компаний по коммерческим перевозкам пассажиров. На этапе запуска воздушного судна на дисплее появились ошибки по не запуску левого и

правого двигателя, воздушное судно находится в базовом аэропорту. При начальном анализировании проблемы становится ясно, что проблема, может быть, в нескольких элементах системы: неисправна одна свеча зажигания или более (на двухдвигательном ВС 4 шт.); неисправны подводящие электрически заряд провода (на двухдвигательном ВС 4 шт.); неисправен блок поджига (на двухдвигательном ВС 4 шт.).

Тогда, на Э1 получим, что время снятия полетной информации не зависит от количества потенциальных единиц системы, которые могут быть неисправны:

$\mu_{Э1}$ - количество неисправных систем на этапе 1 (сколько заявок может обработать за единицу времени);

γ - время на снятие ПИ (полетная информация).

Следовательно, учитывая, что количество неисправных систем или блоков не влияет на время снятия ПИ (полетная информация), то затраченное время равно:

$$T_{Э1} = \mu_{Э1} \times \gamma = T_{Э1(const)} \quad (1)$$

Где, $\mu_{Э1}$ и $\gamma = const$.

Этап 2 включает в себя выгрузку данных на портативном компьютере, ручную апробацию множества кодов, по каждой системе, выдача отчета. Тогда, время, затраченное на прохождение второго этапа, равно:

$$T_{Э2} = \mu_{Э2} \times \theta_{Э2} \times \vartheta_{Э2} + \pi \quad (2)$$

Где, $\mu_{Э2}$ - количество неисправных систем на этапе анализа ПИ (сколько заявок может обработать за единицу времени);

$\theta_{Э2}$ - аппроксимирующий коэффициент, уравнивающий расчет времени по анализу одной системы. (из-за разницы в объеме данных и количестве компонентов);

$\vartheta_{Э2}$ - затраченное время на ручную переборку «кодов неисправностей»;

π -время на составление отчета и переноса данных на ПК (портативном компьютере).

Третий этап (Э3), как и этап два зависит от переменных - $\mu_{Э3}$; $\theta_{Э3}$; $\vartheta_{Э3}$, исключается оператор π .

$$T_{Э3} = \mu_{Э3} \times \theta_{Э3} \times \vartheta_{Э3} \quad (3)$$

Ведущие инженера повторно выполняют апробацию отчета, полученного от подразделения по расшифровке, и, основываясь на личном опыте и технической документации, выносят конкретные предположения на четвертый этап (Э4). Время, затраченное на Э4 приблизительно схоже с первым этапом, $T_{Э4} = \text{const}$ и зависит от количества отказавших элементов (датчиков, насосов и др.):

$$T_{Э4} = \mu_{Э4} \times \delta = T_{Э4(\text{const})} \quad (4)$$

Где, $T_{Э4} = \text{const}$, зависит от $\mu_{Э4}$ (1,2, 3...n отказавших систем);
 δ - время на устранение неисправности.

Следовательно суммарное время вывода ВС из ситуации AOG (Aircraft on the Ground / воздушное судно на земле) равно:

$$\sum \begin{cases} T_{Э1} = \mu_{Э1} \times \gamma \\ T_{Э2} = \mu_{Э2} \times \theta_{Э2} \times \vartheta_{Э2} + \pi \\ T_{Э3} = \mu_{Э3} \times \theta_{Э3} \times \vartheta_{Э3} \\ T_{Э4} = \mu_{Э4} \times \delta \end{cases} \quad (5)$$

Из полученной суммы затраченного времени по устранению неисправности видно, что $T_{Э3}$ и $T_{Э4}$ почти идентично и в формульном виде отличается добавлением оператора π на втором этапе взаимодействия. При внедрении специализированного программного обеспечения для подразделений полетной информации получится оптимизировать время работы трех ключевых этапов устранения неисправности на воздушном судне. На этапе 2 и 3 показатель $\theta_{Э2/3}$ (аппроксимирующий коэффициент, который уравнивает расчет времени по анализу одной системы) будет сведен к минимальному значению, из-за скорости работы компьютера, также как и коэффициент $\vartheta_{Э2/3}$. Программа собственноручно выгрузит все данные с флеш-накопителя (либо с облака данных) проанализирует все полученные данные от систем, включая системы, которые могут косвенно относиться к возникшей неисправности на борту ВС и выгрузит собственноручный отчет для последующей передачи на этап 3 ($\pi = 0$). В математическом виде, если учитывать, что компьютер работает быстрее человека в несколько раз (предположим, что в два раза), то время, затраченное на втором этапе:

$$T_{Э2} = \frac{\mu_{Э2} \times \vartheta_{Э2}}{2} \quad (6)$$

Время прохождения третьего этапа сводится к конкретному отчету по конкретным системам, где программа убрала ложные срабатывания датчиков (выделила их отдельным фоном). Оптимизация по времени составит разницу двух систем до и после внедрения машинного обучения:

$$\sum \left\{ \begin{array}{l} T_{31} = \mu_{31} \times \gamma \\ T_{32} = \mu_{32} \times \theta_{32} \times \vartheta_{32} + \pi \\ T_{33} = \mu_{33} \times \theta_{33} \times \vartheta_{33} \\ T_{34} = \mu_{34} \times \delta \end{array} \right. - \sum \left\{ \begin{array}{l} T_{31} = \mu_{31} \times \gamma \\ T_{32} = \frac{\mu_{32} \times \vartheta_{32}}{2} \\ T_{33} = \mu_{33} \times (\vartheta_{33}/2) \\ T_{34} = \mu_{34} \times \delta \end{array} \right. \quad (8)$$

Из полученной системы видно, что программное обеспечение убрало повторение действий (это касалось двойного анализа одних и тех же файлов, на втором и третьем этапе). Помимо оптимизации времени взаимодействия, программа помогает разгрузить, как сотрудников отдела ПИ, так и инженерно-технический персонал, непосредственно участвующих в обслуживании воздушного судна. Машинное обучение прорабатывает все возможные «отказы» систем самолета, анализирует динамику отказов (по времени эксплуатации) и выдает готовый отчет с рекомендациями по устранению, основываясь на руководстве по поиску и устранению неисправностей производителя самолета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенова А.А. Путь машинного обучения: междисциплинарный анализ развития технологий// Семенова А.А. // Проблемы деятельности ученого и научных коллективов 2024.
2. Шаров, В. Д. Анализ выполнения стандартов ИКАО в программе безопасности полётов гражданской авиации России / В. Д. Шаров // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – № 1. – С. 6-28. – DOI 10.51955/2312-1327_2026_1_6. – EDN IAGAQU.
3. Якимович Н. В. "Черные дыры" в системе защиты гражданской авиации от негативных проявлений "человеческого фактора" / Н. В. Якимович // Проблемы безопасности полетов. – 2016. – № 11. – С. 22-26. – EDN XACJJB.

Чернобровенко А.Е., Письменный А.Б.

Научный руководитель: Федотов Е.А., ст. преп.

*Белгородский государственный технологический университет имени
В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПРОКСИРОВАНИЯ ТРАФИКА ЧЕРЕЗ SOCKS5 ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ЗАМЕЩЕНИИ НАБЛЮДАЕМОГО IP-АДРЕСА КЛИЕНТА

Рост распределённых сервисов и удалённого доступа стимулирует использование прокси-механизмов для контроля маршрутов прикладного трафика, в том числе для изменения сетевого адреса клиента на стороне внешнего ресурса. SOCKS5 проектировался как каркас для прохождения прикладных протоколов через межсетевые экраны и шлюзы, предоставляя унифицированный способ передачи параметров назначения и согласования методов аутентификации [1]. При этом безопасность такого прохождения зависит от выбранных методов и не гарантируется по умолчанию. Иными словами, одна и та же функция подмены IP может реализовываться как в защищённой, так и в уязвимой архитектуре, в зависимости от того, как организовано соединение между клиентом и прокси-сервером и какие криптографические методы применяются [2].

SOCKS5 описывается как промежуточный слой между прикладным уровнем и транспортным уровнем. Клиентское приложение устанавливает TCP-соединение к SOCKS-серверу, после чего проходит этап согласования метода аутентификации и отправляет запрос ретрансляции. Запрос содержит команду, тип адреса и параметры назначения, причём стандарт поддерживает IPv4, IPv6 и доменное имя. Затем SOCKS-сервер оценивает запрос и либо устанавливает соединение с целевым узлом, либо отклоняет его.

Ключевым эффектом является подмена IP, поскольку фактическое соединение к целевому сервису инициируется прокси-сервером. Соответственно, в сетевых метаданных целевой системы источником будет выступать адрес SOCKS-сервера, поскольку именно прокси является непосредственным участником транспортного взаимодействия. Данный эффект является следствием архитектуры проксирования на уровне установления соединения и не тождественен подделке IP-пакетов на сетевом уровне.

Поддержка доменных имён в запросе важна для приватности, так как при переносе разрешения имени на сторону прокси снижается

вероятность утечки DNS-метаданных на участке вне защищённого канала.

С учётом различий в уровне защищённости и эксплуатационных свойствах практический интерес представляет сопоставление наиболее распространённых схем подключения к SOCKS5-прокси. Рассматриваются три способа подключения:

- 1) Публичный SOCKS5 без шифрования.
- 2) SOCKS5 через SSH-туннель.
- 3) Публичный SOCKS5 с TLS-инкапсуляцией.

Публичный SOCKS5 обычно задаётся параметрами: IP, порт, логин и пароль. Однако данный способ передаёт пароль в открытом виде, что не рекомендуется в средах с возможной прослушкой. Без криптографической защиты канала слишком велик риск перехвата учётных данных и содержимого трафика на транзитном участке.

SSH-подключение формирует защищённый туннель поверх сети, так как SSH предназначен для обеспечения шифрованной связи между хостами и допускает пересылку TCP-соединений. При использовании локального SOCKS-интерфейса через SSH-канал до удалённого узла выхода трафик клиента защищается вплоть до этого узла. Дальнейшая безопасность будет определяться протоколом целевого сервиса.

Публичный SOCKS5 с TLS-надстройкой реализует схему, при которой SOCKS-обмен выполняется внутри TLS-соединения. TLS 1.3 предназначен для предотвращения прослушивания, подмены и подделки сообщений в канале между клиентом и сервером.

Так как RFC 1928 не описывает встроенного шифрования, TLS-режим требует согласованной поддержки на обеих сторонах.

Теоретические различия между указанными схемами подключения целесообразно дополнить сравнением их прикладных характеристик в модели передачи данных фиксированного объёма. Для практической интерпретации различий между рассмотренными схемами подключения проведён эксперимент по передаче файлов фиксированного размера через SOCKS5-прокси. В качестве условий моделирования принят типовой сценарий, при котором клиент находится в России, а прокси-сервер размещён в Нидерландах.

Приведённые значения носят оценочный характер и отражают практические показатели, а не результаты лабораторных измерений. В табл. 1 представлено время передачи файлов различного объёма, характеризующее воспринимаемую пользователем задержку. Для объективного сравнения эффективной пропускной способности канала значения времени пересчитаны в показатели скорости передачи данных

(табл. 2), что позволяет количественно оценить накладные расходы, связанные с обеспечением безопасности соединения.

Таблица 1. Сравнение времени передачи файлов через SOCKS5 при различных схемах подключения

Размер файла	Публичный SOCKS5 без шифрования, с	Публичный SOCKS5 с TLS-настройкой, с	SOCKS5 через SSH-туннель, с
1 МБ	0,42	0,51	0,57
10 МБ	3,25	3,55	3,78
20 МБ	6,35	6,95	7,42

Таблица 2. Сравнение скорости передачи файлов через SOCKS5 при различных схемах подключения

Размер файла	Публичный SOCKS5 без шифрования, МБ/с	Публичный SOCKS5 с TLS-настройкой, МБ/с	SOCKS5 через SSH-туннель, МБ/с
1 МБ	2,38	1,96	1,75
10 МБ	3,08	2,82	2,65
20 МБ	3,15	2,88	2,70

Полученные данные демонстрируют ожидаемую зависимость – максимальная пропускная способность достигается в схеме публичного SOCKS5 без дополнительного криптографического покрытия канала. Это объясняется отсутствием накладных расходов, связанных с шифрованием и дополнительным согласованием параметров защищённого сеанса. Однако данное преимущество относится исключительно к производительности и не должно интерпретироваться как признак практической предпочтительности.

TLS-инкапсуляция сопровождается снижением скорости передачи по сравнению с публичным SOCKS5 без шифрования. Согласно данным табл. 2, при передаче файла объёмом 1 МБ скорость снижается с 2,38 до 1,96 МБ/с, при объёме 10 МБ — с 3,08 до 2,82 МБ/с, а при объёме 20 МБ — с 3,15 до 2,88 МБ/с. Следовательно, использование TLS в рассматриваемой схеме приводит к дополнительным накладным расходам, однако их величина остаётся умеренной. Это позволяет рассматривать данный режим как практически целесообразный в тех

случаях, когда необходимо обеспечить защиту учётных данных и передаваемого содержимого без отказа от выборочного проксирования трафика отдельных приложений.

Наименьшие показатели скорости в рассматриваемом эксперименте демонстрирует схема с SSH-туннелированием. Полученные результаты могут быть объяснены дополнительными затратами на организацию защищённого канала и обработку трафика внутри туннеля. Вместе с тем различия между SSH-туннелированием и TLS-инкапсуляцией не являются принципиальными: для файла объёмом 20 МБ разница составляет 0,18 МБ/с. Это позволяет сделать вывод о том, что в условиях управляемой инфраструктуры SSH-туннель остаётся обоснованным вариантом подключения, если приоритет отдаётся контролю точки выхода, устойчивости конфигурации и доверию к серверной стороне.

Публичный SOCKS5 без шифрования является наименее защищённым. SSH-туннель, напротив, обеспечивает наиболее надёжную и безопасную модель работы при условии, что удалённый узел администрируется доверенной стороной. Режим SOCKS5 с TLS-надстройкой занимает промежуточную позицию. При корректной настройке сертификатов и стабильной серверной реализации он обеспечивает высокий уровень безопасности, хотя требует дополнительной программной совместимости на стороне клиента и прокси-сервера.

Сравнение показывает, что оценка SOCKS5 не должна ограничиваться только фактом замещения наблюдаемого IP-адреса клиента. При корректном рассмотрении требуется учитывать три группы параметров: производительность, защищённость и эксплуатационную надёжность [3].

Анализ позволяет заключить, что SOCKS5 следует рассматривать не просто как механизм замещения видимого адреса источника, а как инструмент управляемой прикладной маршрутизации, эффективность которого определяется конкретной схемой подключения. Повышение уровня надёжности канала неизбежно сопровождается определёнными издержками в производительности. TLS-инкапсуляция поверх SOCKS5 формирует наиболее рациональный компромисс между скоростью, безопасностью и удобством внедрения в публичную прокси-инфраструктуру.

Отдельные схемы подключения к прокси-серверу позволяют обеспечить уровень защищённости сетевого взаимодействия, сопоставимый с применением VPN, при этом в ряде случаев оказываясь функционально предпочтительнее. Это обусловлено тем, что SOCKS5,

в отличие от туннелирования всего трафика узла, обеспечивает проксирование лишь тех приложений, которые целенаправленно используют прокси-интерфейс, позволяя более гибко управлять маршрутизацией и защитой прикладного трафика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сложно о простом. Самые популярные протоколы и принципы их работы. HTTP, HTTPS, SSL и TLS. Часть 3 // Хабр. – 2024. – 25 дек. – Режим доступа: <https://habr.com/ru> (дата обращения: 06.04.2026).

2. Глухоедов А. В., Федотов Е. А. Инфокоммуникационные системы и сети: конспект лекций: учеб. пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 104 с. – Режим доступа: <https://studfile.ne> (дата обращения: 08.04.2026).

3. Мишина Ю. А., Федотов Е. А. Особенности способов защиты от ошибок передаваемой информации по сети // 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. 1926–1933.

УДК 691

Чуйко К.К.

*Научный руководитель: Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия.*

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии является одной из ключевых задач, решение которой способствует увеличению срока эксплуатации зданий, сооружений и конструкций различного назначения. Проведённые обследования показали, что под воздействием физических, механических, химических и иных факторов, включая воздействие газов и жидкостей, бетон подвержен разрушению. Долговечность бетона определяется его стойкостью к агрессивным средам и степенью агрессивности среды по отношению к бетону.

При продолжительном действии нагрузки возникают и накапливаются коррозионные повреждения, изменяются физико-механические свойства бетона и арматуры.

Согласно работам В.М. Москвина можно выделить три основных вида коррозии бетона [1].

«Первый вид коррозии включает процессы, происходящие в бетоне под воздействием жидких сред, которые способны растворять составляющие цементного камня и вымывать их из его структуры. Такие процессы развиваются, как правило, при фильтрации воды через толщу бетона.

Ко второму виду коррозии относят процессы, связанные с химическим взаимодействием между компонентами цементного камня и агрессивными растворами. В результате реакций образуются новые соединения, которые либо выносятся из структуры бетона диффузией или фильтрационным потоком, либо осаждаются внутри пор в виде отложений. Подобный тип коррозии развивается при воздействии кислотных растворов и некоторых видов солей.

Третий вид коррозии характеризуется процессами накопления и кристаллизации малорастворимых веществ в порах бетона. Образующиеся кристаллы создают внутренние напряжения, приводящие к разрушению структуры материала. К этому типу относят, в частности, сульфатную коррозию бетона.

В природных условиях коррозия железобетона редко проявляется в виде одного типа. Более подробно рассмотрим первый тип коррозии бетона на наиболее распространенных процессах.»

Одним из таких процессов является выщелачивание. Воздействие атмосферных условий, углекислого газа (CO_2) на конструкции, вызывает образование карбоната кальция. Этот процесс происходит вследствие проникновения углекислого газа в толщу бетона при наличии влаги. При соблюдении оптимальных пропорций компонентов бетонной смеси и надлежащем уходе за ней формируется бетон с щелочной средой, значение pH которого составляет около 13. Защита арматуры от коррозии происходит благодаря формированию тонкого защитного слоя из оксида железа Fe_2O_3 на поверхности металла, что является результатом щелочной среды бетона, вызванной присутствием гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Эта защита известна под названием «пассивность» [2]. Образование карбонатов снижает значение pH в бетоне примерно до 9. Когда уровень pH в бетоне опускается ниже 11, арматура теряет свою пассивность. В данных условиях начинается коррозия арматурных стержней, а объем новообразований возрастает, что может привести к образованию продольных трещин и отслоению защитного слоя бетона.



Рис. 1. Пример выщелачивания бетона

Согласно статье [3], на внутренней стороне плиты в результате воздействия мягкой дождевой воды образовался белый налет. При проведении ТГА и РФА был определен состав новообразований:

Основная составляющая (90-95%) высола приходится на карбонат кальция CaCO_3 в форме кальцита, образовавшегося в результате карбонизации выщелачивающегося из цемента гидроксида кальция.

Остальные 5-10% высола относятся к сульфату натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Характерным типом коррозии второго вида является воздействие хлоридов.

Хлориды широко распространены в окружающей среде и присутствуют во многих природных и искусственных источниках: поверхностных и грунтовых водах, в морской воде. Хлорид-ионы сами по себе инертны по отношению к цементному клинкеру, и поэтому не образуют труднорастворимых соединений с кальцием – главным элементом минералов цементного камня. В основном их агрессивность связывают только с коррозией стальной арматуры в железобетонных конструкциях [2].

Хлоридная коррозия является одним из наиболее распространенных явлений, порождающих коррозионный износ железобетонных конструкций, за счет электрохимической реакции между сталью и окружающей средой. Это происходит всякий раз, когда оксидная пленка, образующаяся при гидратации цемента и поддерживаемая высокой щелочностью бетона, разрушается при проникновении хлорид-ионов, которые снижают пассивирующие свойства бетона к арматуре [4]. Ионы хлора проникают через защитную оксидную пленку значительно легче, чем большинство других ионов, что приводит к ускорению процессов коррозии. В результате этого стальная арматура вступает в реакцию окисления, при которой объем

продуктов коррозии оказывается в 2–2,5 раза больше объёма исходного металла. Такое увеличение объёма создаёт существенные внутренние напряжения в бетоне, способствующие образованию продольных трещин и отслоению защитного слоя вокруг арматурных стержней.

Коррозия протекает при сочетании двух факторов, причем они оба необходимы для этого процесса. Первым является проникновение хлора в бетон, включая арматурные стержни с последующей их депассивацией. Вторым является влага, содержащая кислород.

Проникновение начинается с поверхности бетона и продолжается внутри бетона. Время проникновения зависит от: [5,6,7]

Концентрации хлоридов, контактирующих с бетонной поверхностью.

Проницаемости бетона

Относительной влажности

К третьему виду коррозии относят процессы, при которых в порах бетона происходит накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакций, сопровождающиеся увеличением объёма твёрдой фазы. Подобные явления наиболее часто наблюдаются в сооружениях, погруженных в морскую воду и имеющие открытую, необработанную поверхность, с которой происходит интенсивное испарение влаги.

При отсутствии дополнительных защитных мер, вследствие капиллярного подсоса и испарения воды с поверхности бетона, образуется накопление солевых растворов в конструкциях.

Со временем происходит увеличение объёма твердой фазы, что приводит к возникновению внутренних напряжений в бетоне, вследствие чего образуются повреждения и даже разрушения структуры бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536с.

2. Лукашевич, М. В. Влияние жидких агрессивных хлорсодержащих сред на коррозионные повреждения железобетонных конструкций / М. В. Лукашевич, Н. В. Филимонова // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1(67). – С. 40-43. – EDN RPYLB.

3. Фалалеева, Н. А. Влияние технологических факторов и коррозии на трещинообразование бетона / Н. А. Фалалеева, Л. В. Ким //

Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S4-9. – С. 149-156. – EDN TZLVOT.

4. Канаева, Е. А. Воздействие различных видов кислот на железобетонные конструкции / Е. А. Канаева, А. В. Худяков // Молодой ученый. – 2023. – № 24(471). – С. 94-97. – EDN GBIUIN.

5. Содержание хлоридов и значение pH в поровом растворе бетона при карбонизации: анализ экспериментальных исследований / С. Н. Леонович, Е. Е. Шалый, Д. А. Литвиновский [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2(128). – С. 20-25. – DOI 10.36773/1818-1112-2022-128-2-20-25. – EDN NYWTGA.

6. Смоляго, Г. А. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды / Г. А. Смоляго, А. В. Дронов, Н. В. Фролов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2017. – № 1(70). – С. 43-49. – DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49. – EDN YLZGCL.

7. Исследование аспектов хлоридной коррозии железобетонных конструкций / Г. А. Смоляго, А. А. Крючков, С. В. Дрокин, А. В. Дронов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 22-24. – EDN RYXDTN.

УДК691.619.8

Шабалин С.И.

Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия*

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Изделия на основе минерального штапельного волокна занимают одно из ведущих мест среди строительных теплоизоляционных материалов. Они представляют собой высокопористую сетчатую структуру, состоящую из минеральных волокон, скрепленных синтетическим связующим веществом. Современные тенденции развития рынка предъявляют к производителям минеральной ваты все более строгие требования к физико-механическим характеристикам, способствующим улучшению эксплуатационных свойств продукции и

увеличению срока службы материала [1]. Для тяжелых марок теплоизоляционных изделий (плотность 80...160 кг/м³), ключевой эксплуатационный параметр является функцией трех взаимосвязанных свойств: прочность, плотность и теплопроводность. Каждый из этих параметров оказывает непосредственное влияние на остальные. Например, существует четкая зависимость между плотностью и прочностью, а также между плотностью и теплопроводностью. В связи с этим, перед современным производителем изделий из минеральной ваты стоит цель – получение продукции с высокой прочностью и минимально возможной теплопроводностью при минимально возможной плотности.

Теплопроводность является одним из ключевых теплофизических параметров минералованных изделий (МВИ). Значение этого показателя зависит от плотности материала. Минимальные значения коэффициента теплопроводности достигаются при оптимальной плотности, находящейся в диапазоне 60 – 75 кг/м³. При отклонении плотности как в меньшую, так и в большую сторону коэффициент теплопроводности возрастает.

Это объясняется следующими причинами. При низкой плотности 25 – 50 кг/м³, тепловой поток распространяется быстрее за счет наличия крупных воздушных полостей и увеличения расстояния между волокнами, что снижает термическое сопротивление. В тоже время при увеличении плотности до 100 – 180 кг/м³ проводником тепла становятся сами минеральные волокна, обладающие более высокой теплопроводностью по сравнению с воздухом, что также приводит к росту общего коэффициента теплопроводности материала.

На сегодняшний день, достижение более низких значений коэффициента теплопроводности, на тяжелых марках, становится возможным в случае снижения плотности, при условии сохранения высоких значений физико-механических свойств МВИ.

Рассматривая весь спектр факторов, определяющих прочность МВИ, можно выделить ряд основных групп, рассматриваемые ниже.

1-я группа – прочность индивидуального волокна. Она зависит от химического состава, модуля кислотности (M_k) ваты [2], а также наличия дефектов структуры на макро- и микроуровнях (газовые включения, кристаллические твердые фазы, свилы) [3].

При анализе прочности индивидуальных волокон с позиции концентрации химических связей структурообразователей силикатных расплавов, прослеживается прямая зависимость – с увеличением модуля кислотности (M_k) и степени связанности кремний-кислородного каркаса (f_{Si}), прочность волокна возрастает [4-6].

$$M_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \quad (1)$$

$$f_{Si} = nSiO_2 / (nMe_2O + nMeO + 3nMe_2O_3 + 2nMeO_2 + 5nMe_2O_5 + 3nMeO_3) \quad (2)$$

Тем не менее, при недостаточной гомогенизации расплава вследствие неудовлетворительной его подготовки к выработке, высокий показатель M_k может стать лимитирующим фактором, приводящим к обратному эффекту – снижению прочности волокон. Причиной этого является неполная дегазация минеральных расплавов, обусловленная их низкой вязкостью в температурном интервале выработки, а также возможная кристаллизация при нарушении этого интервала. Таким образом, для достижения искомых значений физико-механических характеристик МВИ, производителям необходимо находить оптимальный баланс между технологическими возможностями оборудования, методами получения расплавов и желаемым уровнем модуля кислотности.

2 группа – прочность связи «минеральное волокно – полимерное связующее». Определяется прочностью самого сшитого полимера смолы, адгезионными свойствами композиции связующего к минеральному волокну, а также оптимальным подбором компонентов, таких как силаны и силиконы. В этой группе важную роль играет эффективность термической обработки, обеспечивающей полноту реакции отверждения связующего (например, фенолформальдегидной смолы) или максимальную конверсию полимерного не фенолформальдегидного связующего. Термическая обработка, является финальным технологическим процессом, определяющим конечные свойства продукта:

- физико-механические характеристики;
- долговечность;
- экологичность.

При неправильно выбранных режимах тепловой обработки достижение требуемых характеристик весьма проблематично в силу следующих причин:

- не достаточно отвержденная композиция на основе термореактивных смол будет иметь низкие физико-механические характеристики, что отрицательно скажется на прочности связи «минеральное волокно – полимерное связующее»;
- смолы, не прошедшие полного отверждения, впоследствии могут терять свои физико-механические характеристики вследствие агрессивного воздействия атмосферных факторов [7];

– не достаточно отвержденные композиции связующего на основе фенолформальдегидных смол подвержены выделению летучих соединений, таких как аммиак, фенол, формальдегид.

Изначально все низкомолекулярные соединения: гидроксиметилфенол, ди- и три-гидроксиметилфенол, входящие в состав фенолформальдегидных смол, в условиях повышенной температуры и смещения pH ближе к кислой среде, сшиваются друг с другом, образуя высокомолекулярные соединения. Отверждение смол проходит в три стадии: Резол (стадия А), Резитол (стадия В), Резит (стадия С). Прохождение стадии полного отверждения с переходом в завершающую стадию С – Резит, сопровождается выделением низкомолекулярного соединения, химической воды «H₂O» [8].

Финальная стадия отверждения резольных смол (Резит), состоит из трехмерных высокомолекулярных соединений. Он не плавится, не размягчается при нагревании, нерастворим и не набухает ни в каких растворителях. Смолы в стадии С, имеют максимальные значения физико-механических характеристик.

Силаны и силиконы, создают дополнительные связи, «сшивая» функциональные группы смолы с неорганическим волокном, тем самым образуя более прочные связи в результате создания дополнительной полимерной сетки (рис. 1).

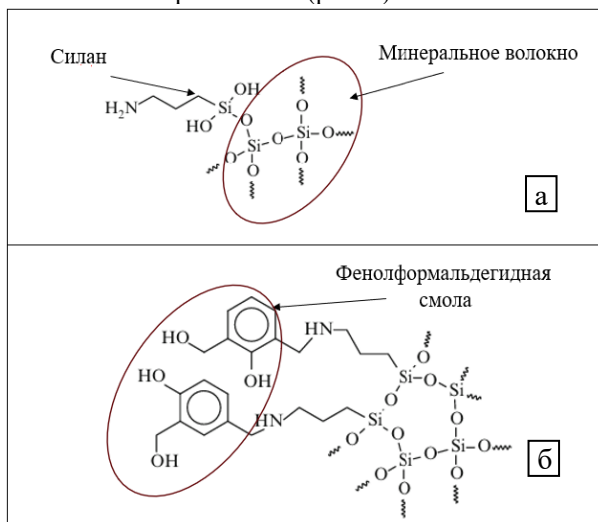


Рис. 1. Схематическое изображение комбинированной структурной сетки минеральной ваты с силаном (а), минеральной ваты с силаном и фенолформальдегидной смолой (б)

3 группа - количество контактов между минеральными волокнами, формирующих пространственный каркас изделия. Этот параметр зависит от диаметра волокна, наличия неволокнистых включений («королек» и волокон с большим диаметром), снижающих конструктив сетчатого каркаса (рис.2) [9], а также количества связующего компонента и равномерного его распределения.



Рис. 2. Микроизображения минеральной ваты, содержащие «королек» и волокна крупного размера

Как уже отмечалось, прочность сетчатого каркаса минерального волокна определяется количеством нанесенного связующего вещества. Однако увеличение содержания связующего не может быть безграничным. Для легких марок теплоизоляционных материалов доля органических связующих не превышает 2,5%, для средних – 3,5%, для тяжелых – 4,5%. Такое ограничение обусловлено требованиями к горючести конечного продукта [10].

В процессе нанесения и распределения связующего по поверхности волокна, максимальный эффект по количеству связей достигается при условии равномерного смачивания волокна с покрытием его тонкой пленкой и отсутствии крупных капель, не способствующих формированию дополнительных связей «волокно-полимер-волокно». Пример наличия крупных капель приведен на рис. 3.

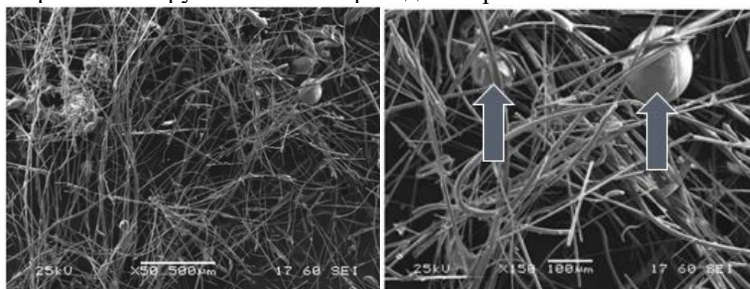


Рис.3 Микроизображения минеральной ваты, обработанной связующим с наличием крупных капель органических веществ

Крупные капли связующего в данном процессе являются «мертвой материей», снижающей количество образованных связей «волокну-полимер-волокну».

4 группа – взаимная ориентация волокон внутри сформированного каркаса. По этому признаку, структуру сетки из волокна можно подразделить на три основных типа: преимущественно вертикальную, преимущественно горизонтальную и хаотичную (неориентированную) [11]. Взаимная ориентация волокна внутри упаковки оказывает непосредственное влияние на прочность и теплопроводность (рис.4). Ориентация и укладка волокон определяется типом и назначением формируемого изделия. При производстве легких, требующих компрессирования МВИ легких марок с плотностью 25...35 кг/м³, волокна располагаются преимущественно горизонтально. В тоже время для изделий, к которым предъявляются повышенные требования по механическим характеристикам, необходимо обеспечить максимальную переориентацию волокон в вертикальном направлении.

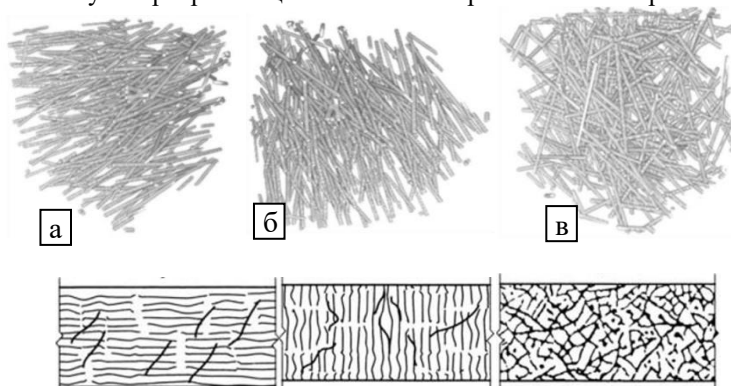


Рис. 4. Виды взаимной ориентации волокон:

а – горизонтально-направленная структура; б – вертикально-направленная структура; в – хаотично-направленная структура.

Согласно положениям теоретической механики и сопротивления материалов, волокна с вертикальной направленностью наиболее эффективно воспринимают сжимающие нагрузки, но увеличение доли вертикально-ориентированных волокон сопровождается снижением теплоизоляционных свойств материала, что выражается в ухудшении коэффициента теплопроводности. Для примера при строго вертикальном расположении волокна и плотности 100 кг/м³, может быть достигнут коэффициент теплопроводности 0,04...0,041 Вт/м*К, а

при горизонтально расположенных волокнах – 0,036...0,037 Вт/м*К. Таким образом производители изделий из минеральной ваты вынуждены находить компромисс между тремя взаимосвязанными, важными параметрами – плотностью, прочностью и теплопроводностью, оптимизируя структуру материала в зависимости от его целевого назначения.

В данной статье проанализированы основные факторы, определяющие эксплуатационные свойства изделий из минеральной ваты. Систематизация выявленных отклонений и обозначенных проблем позволяет разработать рабочие гипотезы, направленные на повышение качества и долговечности продукции. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований и внедрения эффективных технологических решений в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. С. Скьявони, Ф. Д'Алессандро, Ф. Бьянки, Ф. Асдрубали. Изоляционные материалы для строительства: обзор и сравнительный анализ.// *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. №62. С. 988-1011. DOI:10.1016/j.rser.2016.05.045
2. Шабалин С.И. Исследование дефектов минеральной ваты и структуры индивидуальных волокон. // Сборник докладов по материалам МНТК молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова 29-30 мая. Белгород. 2025. С.166 – 172 <https://www.elibrary.ru>
3. ГОСТ 4640-2011. Вата минеральная. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2011. – 15с.
4. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий - М.: Теплоэнергетик. 2002. – 416 с.
5. М.В. Артамонова, М.С. Асланова и др. под ред. М.Н. Павлушкина. Химическая технология стекла и ситаллов. - М. Стройиздат, 1983. – 432 с.
6. Лазарова Ю.С., Онищук В.И., Шабалин С.И. Роль Fe_2O_3 в структуре и свойствах бесщелочных железосодержащих магнийалюмосиликатных стекол для непрерывного высокомодульного стекловолокна// *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2025. № 12. С. 96–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-12-96-109
7. L. Pilato. *PhenolicResins: A Century of Progress*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 545p.
8. Воробьев А.А. Фенолформальдегидные смолы.// *Компоненты и технологии*. – 2003. - №7(33). – С.176 – 179.

9. Рахимов Р.З., Шелихов Н.С., Смирнова Т.В. Теплоизоляция из каменной ваты: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 312с.

10. ГОСТ 30244- 94. Материалы строительные. Методы испытания на горючесть. – М.: Минстрой России, 1995. – 15с.

11. Ю.Л. Бобров Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 168с.

УДК 004.89

Шайдуллина З.И.

*Научный руководитель: Арутюнова Н.К., канд. физ.-мат. наук, доц.
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань, Россия*

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ ПРИОРИТИЗАЦИИ ЗАЯВОК В КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

В корпоративных информационных системах служба поддержки ежедневно обрабатывает большое количество заявок. Эти обращения различаются не только по содержанию, но и по степени срочности, влиянию на рабочие процессы и объему требуемых ресурсов. На практике приоритет заявки нередко определяется оператором вручную. Такой подход удобен на начальном этапе, однако при увеличении потока обращений он начинает создавать заметные проблемы: критически важные инциденты могут обрабатываться с задержкой, нагрузка между исполнителями распределяется неравномерно, а общее время реакции службы поддержки возрастает [1].

Для организаций, где цифровые сервисы тесно связаны с производственными, управленческими или внутренними бизнес-процессами, данная проблема особенно актуальна. Даже кратковременные сбои в работе корпоративных систем способны отрицательно сказаться на выполнении повседневных операций, доступе сотрудников к данным и взаимодействию между подразделениями. В такой ситуации оправданным становится использование интеллектуального модуля, который может автоматически оценивать поступающие заявки и формировать более обоснованный порядок их обработки [2].

Целью данной работы является разработка архитектуры интеллектуального модуля приоритизации заявок, предназначенного для встраивания в корпоративную информационную систему без существенного изменения уже существующего программного контура.

Для достижения поставленной цели необходимо решить несколько задач: определить основные требования к модулю, выделить его ключевые функциональные компоненты, предложить модель расчета приоритета и оценить практический эффект, который может быть получен при внедрении такого решения.

Практическая значимость разработки состоит в том, что она позволяет сократить время реакции на критические обращения, сделать процесс назначения приоритета более прозрачным и снизить зависимость результата от субъективной оценки конкретного оператора. Кроме того, автоматизация данного этапа помогает уменьшить нагрузку на первую линию поддержки и сформировать единый подход к обработке заявок в масштабах всей организации [3].

При проектировании модуля были выделены несколько базовых требований. Во-первых, решение должно интегрироваться с существующей системой через программный интерфейс и не нарушать работу действующих сервисов. Во-вторых, модуль должен использовать не только формальные поля заявки, но и текстовое описание проблемы, поскольку именно в тексте часто содержатся признаки критичности обращения. В-третьих, архитектура должна быть масштабируемой и допускать последующее совершенствование модели без остановки основной системы. Также необходимо учитывать журналирование результатов, возможность анализа принятых решений и устойчивость к неполным или некорректным входным данным [4].

Предлагаемая архитектура включает пять основных подсистем: модуль приема данных, блок предварительной обработки, модуль интеллектуального анализа, сервис принятия решения и подсистему мониторинга. Модуль приема данных получает сведения о заявке из пользовательского интерфейса, а также, при необходимости, из других корпоративных сервисов. На этапе предварительной обработки выполняются проверка обязательных полей, очистка и нормализация текста, удаление дублирующихся записей и выделение информативных признаков. После этого данные передаются в модуль интеллектуального анализа, где рассчитывается итоговая оценка приоритета. Далее сервис принятия решения присваивает заявке нужную категорию обработки, а подсистема мониторинга сохраняет историю работы алгоритма и позволяет анализировать ошибки, спорные случаи и отклонения.

С инженерной точки зрения целесообразно использовать комбинированный подход, при котором итоговый приоритет определяется не только моделью машинного обучения, но и набором формализованных правил. Такое решение выглядит более надежным

для корпоративной среды, поскольку позволяет сохранить управляемость системы и при этом использовать преимущества интеллектуального анализа данных [2]. Например, даже при невысокой оценке, полученной от модели, заявка может автоматически повышаться в приоритете, если в тексте содержатся признаки отказа ключевого сервиса, потери доступа, ошибки аутентификации или риска утраты данных.

В качестве основы расчета можно использовать интегральный показатель, учитывающий несколько факторов: число затронутых пользователей, критичность затронутого сервиса, степень влияния проблемы на бизнес-процесс и время нахождения заявки в очереди. Такой набор параметров хорошо подходит для практической эксплуатации, поскольку он одновременно отражает техническую сторону инцидента и его организационные последствия. На первом этапе коэффициенты могут быть заданы экспертно, а затем скорректированы по статистике работы системы.

Пусть интегральный приоритет заявки определяется следующим образом:

$$P = 0,35N_{norm} + 0,25S_{norm} + 0,2U_{norm} + 0,2T_{norm}, \quad (1)$$

где N_{norm} — нормированное число затронутых пользователей, S_{norm} — нормированная оценка критичности сервиса, U_{norm} — нормированная степень влияния проблемы на бизнес-процесс, T_{norm} — нормированный коэффициент ожидания в очереди. Все показатели предварительно нормируются в диапазоне от 0 до 1. Преимущество такой формулы заключается в ее понятности: инженер или администратор системы может быстро объяснить, почему заявка получила тот или иной приоритет, и при необходимости изменить веса без полной переработки архитектуры модуля.

Для анализа текстового описания обращения можно применять методы векторизации и классификации коротких сообщений. В простом варианте для этого подходят TF-IDF-признаки в сочетании с линейным классификатором. Если же в распоряжении организации имеется достаточно большой архив исторических заявок, можно использовать и более сложные модели обработки текста [2]. Однако в реальной корпоративной системе важен не только сам алгоритм, но и его место в общей архитектуре. По этой причине модуль анализа текста должен рассматриваться не как отдельный экспериментальный блок, а как часть единого технологического контура, связанного с бизнес-правилами, журналированием и контролем качества [3].

Проверка работоспособности предложенной модели может выполняться на архиве заявок сервисной службы предприятия. Для

этого исторические данные делятся на обучающую и тестовую выборки, после чего сравниваются два сценария: традиционное ручное назначение приоритета и автоматизированное ранжирование обращений с использованием интеллектуального модуля. В качестве метрик целесообразно рассматривать точность классификации, F1-меру, а также среднее время реакции на критические инциденты до и после внедрения решения. Если, например, в распоряжении имеется массив из 10 тыс. ранее обработанных заявок, такая выборка уже позволяет получить первичную оценку качества работы модели и выявить ее слабые места.

Важным преимуществом предложенной архитектуры является ее модульный характер. Каждый компонент может развиваться независимо от остальных: блок предварительной обработки можно расширять новыми правилами очистки текста, модуль интеллектуального анализа — заменять более точной моделью, а сервис принятия решения — дополнять механизмами балансировки нагрузок между исполнителями. Такой подход соответствует современным принципам проектирования программных систем и упрощает сопровождение решения на всех этапах его жизненного цикла [4].

При этом необходимо учитывать и ограничения предлагаемого подхода. Качество работы модели напрямую зависит от полноты и корректности исторических данных. Если архив заявок содержит ошибки, пропуски или неоднородную разметку, это неизбежно скажется на результате. Дополнительной проблемой может стать различие в трактовке уровней срочности разными сотрудниками в разные периоды времени. Кроме того, при внедрении интеллектуального модуля в промышленную эксплуатацию необходимо обеспечить защиту журналов событий, разграничение прав доступа, контроль версий модели и возможность аудита принимаемых решений [4]. Иными словами, успешность проекта определяется не только точностью алгоритма, но и качеством всей инженерной организации системы.

Таким образом, предложенная архитектура интеллектуального модуля приоритизации заявок может рассматриваться как практический инструмент повышения эффективности корпоративной информационной системы. Ее использование позволяет объединить методы программной инженерии, анализа данных и формализованных бизнес-правил в рамках единого решения. Важным достоинством такого подхода является возможность поэтапного внедрения: на начальном этапе модуль может работать в режиме рекомендаций для оператора, а затем, по мере накопления статистики и подтверждения

качества, использоваться уже как полноценный инструмент автоматизированного ранжирования. Дальнейшее развитие работы может быть связано с адаптацией весовых коэффициентов на основе обратной связи, применением более точных моделей обработки текста и расширением набора эксплуатационных метрик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прессман, Р.С. Инженерия программного обеспечения: практический подход / Р.С. Прессман, Б.Р. Максим; пер. с англ. — 8-е изд. — Санкт-Петербург: Питер, 2020. — 1120 с.
2. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг; пер. с англ. — Москва: Вильямс, 2021. — Т. 1. — 704 с.
3. ГОСТ 34.601–90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. — Введ. 1992–01–01. — Москва: Стандартинформ, 1990.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010–2015. Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов. — Введ. 2016–11–01. — Москва: Стандартинформ, 2016.

УДК 697

Шалпегин Д.С.

***Научный руководитель: Гольцов А.Б., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ ПОМОЩИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ ДЛЯ СОХРАННОСТИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛАХ

Современный концертный зал выполняет двойную функцию: с одной стороны, это место проведения культурно-массовых мероприятий с единовременным пребыванием большого количества людей, с другой — место постоянного или временного хранения дорогостоящих музыкальных инструментов. Стоимость концертного рояля премиум класса или старинной скрипки работы итальянских мастеров может достигать нескольких миллионов евро, а их

акустические свойства и механическая целостность находятся в прямой зависимости от стабильности параметров внутреннего воздуха [1].

Классический подход к проектированию систем вентиляции общественных зданий, регламентируемый современными нормами, ориентирован в первую очередь на обеспечение санитарно-гигиенических условий для человека по избыткам теплоты, влаги и углекислого газа [2]. Однако для помещений, где располагаются музыкальные инструменты, приоритет требований смещается в сторону создания стабильной во времени и пространстве воздушной среды, исключая деструктивные процессы в материалах (древесине, лаке, коже, металле). Внедрение систем вентиляции с переменным расходом воздуха (VAV-систем) позволяет адаптировать работу инженерного оборудования под изменяющуюся нагрузку зала, что особенно важно для превентивной защиты инструментов в нерабочее время.

Рассмотрим основные факторы микроклимата, критически влияющие на сохранность музыкальных инструментов, и инженерные методы их контроля:

1. Влияние влажностного режима на геометрическую стабильность деревянных конструкций инструментов.

Наибольшему риску при эксплуатации в концертных залах подвержены инструменты, корпус и дека которых выполнены из древесины резонансных пород (ель, клен). Древесина является гигроскопичным материалом, изменяющим свои линейные размеры и модуль упругости в зависимости от равновесной влажности окружающего воздуха. Процесс сорбции и десорбции влаги в древесине описывается диаграммой равновесной влажности, где изменение относительной влажности воздуха на 10% приводит к изменению ширины деки рояля на 0,5–1,2 мм [3].

Критическими последствиями колебаний влажности являются:

- Коробление и трещины деки. Дека рояля находится под напряжением около 50–70 МПа, создаваемым струнами. При пересыхании воздуха ($\phi < 40\%$) возникают внутренние усадочные напряжения, приводящие к появлению микротрещин, «провалу» строя инструмента, возникновению «стеклянного» звука.

- Нарушение целостности клеевых соединений. Исторически при изготовлении скрипок и виолончелей используются животные клеи (мездровый, костный), которые чувствительны к гидролизу при повышенной влажности и становятся хрупкими при пересыхании.

- Изменение акустического импеданса. При набухании древесины ее плотность и скорость распространения звука снижаются, что делает звучание инструмента «глухим» и «ватным».

Согласно рекомендациям ведущих производителей (Steinway & Sons, C. Bechstein) и музейным нормативам (ASHRAE Handbook — HVAC Applications, Chapter 23: Museums, Galleries, Archives), для хранения и эксплуатации деревянных музыкальных инструментов требуется поддержание относительной влажности в узком диапазоне 45–55% с допустимым суточным отклонением не более $\pm 3\%$ [4]. Это требование значительно строже норм ГОСТ 30494-2011 (допускает 30–60%) и требует применения прецизионных систем увлажнения/осушения, интегрированных в вентиляционную установку.

2. Влияние температурного режима и градиентов на сохранность лакокрасочного слоя и металлических частей.

Температурный фактор влияет на сохранность инструментов двояко: через непосредственное тепловое расширение материалов и косвенно — через изменение относительной влажности при постоянном влагосодержании. Для старинных инструментов особую опасность представляют циклические изменения температуры. Лаковое покрытие, нанесенное на основе спиртовых или масляных смол, имеет коэффициент температурного расширения, отличный от древесины-основы. Частые переходы через «точку стеклования» лака при колебаниях температуры от 18 до 25 °C приводят к образованию микротрещин, снижающих не только эстетическую, но и защитную функцию покрытия.

Кроме того, при охлаждении металлических частей духовых инструментов (медь, латунь, серебро) в условиях высокой влажности возникает риск конденсации влаги на внутренних поверхностях канала, что интенсифицирует процессы коррозии и ухудшает акустический отклик инструмента из-за изменения геометрии мензуры.

Оптимальным для сохранности признается поддержание температуры на уровне 20 ± 1 °C в зоне расположения инструментов.

3. Влияние подвижности воздуха на деформационные процессы в материалах.

В отличие от комфорта человека, для которого подвижность воздуха в холодный период нормируется на уровне не более 0,2 м/с, для инструментов из органических материалов опасность представляет даже слабое, но постоянное движение сухого воздуха. Конвективные потоки от системы вентиляции создают градиент парциального давления у поверхности лака или кожи клапанов, ускоряя процесс влагопереноса из материала в воздух. Этот эффект, известный как «усушка под струей», вызывает неравномерную деформацию верхних слоев древесины относительно сердцевины, что со временем приводит к расслоению шпона или образованию трещин в эфах скрипок.

4. Внедрение систем вентиляции с переменной нагрузкой (VAV) как метод адаптации к режиму эксплуатации зала.

Традиционные системы вентиляции постоянного расхода (CAV) ориентированы на максимальную расчетную нагрузку — заполненный зрительный зал. В ночное время или в репетиционные дни, когда зал пустует, работа системы на полную мощность приводит к избыточному осушению воздуха и созданию сквозняков в зоне сцены, что губительно для инструментов [5].

Внедрение VAV-систем (Variable Air Volume) с датчиками CO₂, температуры и влажности позволяет реализовать дифференцированный подход к воздухообмену:

- Режим «Хранение» (пустой зал). Расход наружного воздуха снижается до санитарного минимума (или до уровня компенсации эксфильтрации). Приоритет отдается режиму рециркуляции с прохождением воздуха через секцию изотермического увлажнения и фильтры тонкой очистки (класс не ниже F7). Основная задача — стабилизация относительной влажности на уровне 50% с отклонением не более $\pm 2\%$ [6].

- Режим «Репетиция/Настройка» (частичное заполнение). Плавное увеличение расхода воздуха по мере роста концентрации CO₂. При этом скорость воздуха в зоне сцены ограничивается значением 0,1 м/с, что достигается применением вытесняющих воздухораспределителей или текстильных воздуховодов с микроперфорацией.

- Режим «Концерт» (полная нагрузка). Переход на расчетный воздухообмен по полной теплоте и влаге. Ключевым отличием от стандартного проектирования является включение в алгоритм работы автоматики упреждающего осушения перед началом мероприятия. Это позволяет компенсировать резкий рост влаговыведений от зрителей (до 80 г/ч на человека) и предотвратить скачок относительной влажности на сцене выше критической отметки 55%.

Сохранность музыкальных инструментов в концертном зале является прямым следствием качества управления микроклиматом, а не только архитектурной акустики. Внедрение адаптивных систем вентиляции с переменным расходом воздуха (VAV) с функцией прецизионного контроля влажности позволяет решить конфликт интересов — обеспечить высокий воздухообмен во время концерта для комфорта зрителей и создать стабильную среду «музейного уровня» в период хранения инструментов. Это достигается за счет дифференциации режимов работы, установки датчиков равновесной влажности древесины (ЕМС) и интеграции алгоритмов превентивного

осушения перед ростом нагрузки. Такой подход требует пересмотра типовых решений узлов регулирования и более тесного взаимодействия инженеров-проектировщиков ОВиК с реставраторами музыкальных инструментов и акустиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bucur V. Acoustics of Wood. — Berlin: Springer-Verlag, 2006. — 393 p.
2. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». — М.: Минстрой России, 2020.
3. Ильина Т.Н., Феоктистов А.Ю. Способы энергосбережения в системах создания микроклимата // Энергосбережение и экология в ЖКХ и строительстве городов. — Белгород: БГТУ, 2012. — С. 244-248.
4. ASHRAE Handbook — HVAC Applications. Chapter 23: Museums, Galleries, Archives, and Libraries. — Atlanta: ASHRAE, 2019.
5. VDI 2083 Blatt 1: Raumlufttechnik — Reinraumtechnik. — Verein Deutscher Ingenieure, 2013.
6. Крюков И.В. Особенности проектирования систем вентиляции зданий с особыми требованиями к чистоте и влажности воздуха // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2018. — №4. — С. 45-52.

УДК 62.169

Шевцов Д.В.

*Научный руководитель: Саввин Н. Ю., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
Им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПАРОСТРУЙНЫЕ ЭЖЕКТОРНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Пароструйные эжекторные теплообменные аппараты (ПЭТА) — представляют собой класс контактных теплообменников, в которых нагрев жидкости осуществляется непосредственно за счёт смешения с водяным паром. В отличие от традиционных поверхностных аппаратов (кожухотрубных, пластинчатых), где тепло передаётся через раздельную стенку, в ПЭТА пар конденсируется прямо в толще нагреваемой среды. Это обеспечивает практически полное использование теплоты конденсации (КПД достигает 98-99%) и позволяет совмещать функции теплообменника и струйного насоса [1].

Основное назначение таких аппаратов – подогрев воды или других жидкостей для систем отопления, горячего водоснабжения и технологических нужд предприятия. Кроме того, ПЭТА эффективно решают задачу утилизации низкопотенциального отработанного пара, который в противном случае сбрасывался бы в атмосферу или дренажную систему. За счет эжекционного эффекта они способны перекачивать нагреваемую среду без дополнительных циркуляционных насосов, что даёт существенную экономию электроэнергии. [2]

Цель данной работы – это систематизировать известные сведения о конструкции, принципе действия, классификации и технико-экономических показателей ПЭТА, а также оценить перспективность их применения в современных энергосберегающих технологиях.

Области применения ПЭТА достаточно разнообразны. В теплоэнергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве их используют в качестве пиковых подогревателей сетевой воды, в схеме деаэраторов, для подогрева подпиточной воды перед химводоочисткой. В промышленности – на химических, нефтехимических, пищевых предприятиях, где требуется быстрый и равномерный нагрев жидкостей в проточном режиме или в ёмкостях-аккумуляторах. [3]

Таким образом, ПЭТА служат для эффективного и экономического нагрева жидкостей паром в тех случаях, когда допустимо прямое смешение сред. Их главные «полезные качества» - высокая тепловая эффективность, компактность, отсутствие движущихся частей, низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Однако существуют и ограничения, связанные с необходимостью чистоты пара и нагрева воды, а также с повышением уровня шума при работе на сверхзвуковых режимах. [4]

Конструктивно пароструйный эжекторный теплообменный аппарат относится к аппаратам струйного типа и включает три основных элемента: паровое сопло, камеру смешения и диффузор. В большинстве промышленных конструкций сопло выполняется по профилю сопла Лавалия - это позволяет разогнать водяной пар до сверхзвуковой скорости на выходе, что значительно повышает эффективность эжекции и интенсивность теплообмена.

Принцип действия заключается в следующем. Пар высокого давления поступает в сопло, где его потенциальная энергия (давление, температура) преобразуется в кинетическую энергию струи. На выходе из сопла образуется область пониженного давления (разрежения), которая «засасывает» нагреваемую жидкость из подводящего патрубка. В камере смешения происходит интенсивное турбулентное смешение паровой струи с жидкостью. Пар конденсируется на поверхности

холодных капель и струй воды, отдавая теплоту парообразования непосредственно нагреваемой среде. Образовавшаяся смесь (горячая вода с полностью сконденсировавшимся паром) поступает в диффузор, где её скорость снижается, а статическое давление повышается до величины, достаточной для подачи потребителю или в систему отопления. [4]

ПЭТА как теплообменник в свою очередь экономически выгоден за счет своих ключевых особенностей. Главная отличительная черта это совмещение различных функций, таких как теплообменника и насоса. Благодаря своей структуре, аппарат способен перекачивать нагретую воду без использования циркуляционного насоса, если давление пара позволяет преодолевать гидравлическое сопротивление. Данная особенность даёт прямую экономию электроэнергии на привод насосного оборудования. [5]

Другая важная особенность это высокая тепловая эффективность. Поскольку пар взаимодействует с водой и полностью конденсируется, то потери тепла отсутствуют. Термический КПД таких аппаратов достигает 98% и остается стабильным в течении всего срока службы. В случаях, когда на аппарате возникают накипи и загрязнений возможно снижение КПД. [5]

Однако нужно выделить и ключевые минусы и ограничения в данных теплообменных аппаратах. Ключевыми недостатками являются:

1. Необходимость смешения двух сред. Можно применять в тех случаях, если жидкость не боится загрязнения возможными примесями пара.
2. При работе аппарат может генерировать повышенный уровень шума (до 100 дБ).

Данная работа произвела обзор пароструйных эжекторных теплообменных аппаратов, доказав их ключевые положительные параметры, такие как полное использование теплоты (КПД до 98%), высокая интенсивность подачи, сравнивая с поверхностными аналогами, а также совмещение функции подогревателя и насоса, что даёт повышенную экономию электроэнергии 60%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аширалиев, А. Теплогенератор с компактной паровой камерой и эффективным теплообменником - путь к энергоэффективности / А. Аширалиев, К. А. Кокумбаева, З. К. Ташиев // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13, № 1(49). – С. 107-117. – EDN LAXLJF.

2. Влияние конденсационного утилизатора на работу паровых и водогрейных газовых котлов / И. Л. Ионкин, А. В. Рагуткин, П. В. Росляков [и др.] // Теплоэнергетика. – 2015. – № 5. – С. 44. – DOI 10.1134/S0040363615050033. – EDN TPWNOV.

3. Саввин, Н. Ю. Математическое моделирование жизненного цикла инженерных систем здания / Н. Ю. Саввин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2024. – № 4(58). – С. 15-23. – DOI 10.36622/2074-188X.2024.34.62.002. – EDN CVDXBN.

4. Семьдесят пять лет газовой геологии России: достижения, проблемы, перспективы. Будущее / М. Я. Зыкин, Д. А. Астафьев, С. А. Леонов [и др.] // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2023. – № 1(53). – С. 5-33. – EDN DHPCWA.

5. Саввин, Н. Ю. Моделирование теплообменного процесса в оригинальном пластинчатом теплообменнике / Н. Ю. Саввин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2023. – № 2(25). – С. 37-46. – DOI 10.36622/VSTU.2023.41.58.004. – EDN YFCIPW.

УДК 004.056

Шимарева М.А.

***Научный руководитель: Анисимова Э.С., канд. техн. наук, доц.
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань, Россия***

БЕЗОПАСНОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ

Биометрическая аутентификация занимает важное место в системе мер информационной безопасности, так как основывается не на знании секретной комбинации или наличии физического носителя, а на устойчивых поведенческих или физиологических характеристиках. В настоящее время она стала востребованной вследствие роста удаленных сервисов и мобильных приложений. С точки зрения безопасности это одновременно и преимущество, и источник риска. Так, она обеспечивает дополнительную защиту, но в то же время неправильная настройка или выход из строя некоторых модулей может привести к компрометации данных. Также существует ряд видов атак на подобные системы, которые стоит рассматривать при разработке системы аутентификации.

При работе с моделью угроз биометрическую систему стоит рассматривать, как совокупность компонентов, к которым относится сенсорный модуль, канал передачи данных, модуль извлечения признаков, хранилище шаблонов, а также механизм принятия решения. Уязвимость каждой из этих составляющих снижает общий уровень защищенности системы. Поэтому при анализе необходимо исследовать не только точность распознавания, но и устойчивость всей цепочки обработки [1].

Наиболее опасным классом воздействий являются атаки на этапе предоставления биометрического признака, так как именно здесь злоумышленник пытается обойти систему защиты спуфингом или с помощью поддельных или искусственно созданных образцов. Для аутентификации по лицу это могут быть подготовленные изображения, видеоповторы или маски, для аутентификации по голосу – записи или синтезированные аудиодорожки, созданные с помощью технологий искусственного интеллекта, для других признаков – копии отпечатков, имитация динамики ввода или подмена сенсорного сигнала. Поэтому возникает необходимость внедрения механизмов антиспуфинга и liveness detection как обязательных элементов биометрической защиты. Их задача состоит не в простом сравнении биометрического образца с эталоном, а в проверке того, что образец действительно принадлежит живому человеку и сформирован в допустимых условиях. Это происходит через анализ текстурных артефактов, шумовых характеристик, согласованности между кадрами или между несколькими сенсорами. Для голосовой аутентификации учитываются темп, спектральные особенности и естественная вариативность речи. Для аутентификации по лицу при этом рассматривают движение глаз, изменение освещения и поведенческую динамику. Поэтому для надежности необходимо выполнение последовательной совокупности проверок, работающих на разных уровнях системы. Антиспуфинг сначала должен выполнять контроль качества входного сигнала, затем проверку признаков живости и только после этого биометрический образец должен поступать в модуль сопоставления.

Не менее важным направлением является защита биометрических персональных данных и шаблонов, так как образец является не просто сохраненным фрагментом информации, а представлением, которое может быть использовано для повторной идентификации человека. В случае утечки такой шаблон нельзя сменить, как пароль, а значит ущерб может иметь долговременный характер. Таким образом защита биометрических данных должна строиться на принципах ограничения доступа и строгого контроля жизненного цикла образца. Для этого

нужно сократить объем собираемой информации до минимально необходимого, ограничить круг лиц, которые имеют доступ к шаблонам, и обеспечить защищенное хранение с контролем целостности. С точки зрения информационной безопасности это означает, что база с биометрическими данными должна рассматриваться как особо важный актив [2].

Практическая защита шаблонов должна включать несколько уровней. Во-первых, хранение биометрии следует осуществлять не в открытом виде, а в формате криптографически защищенного шаблона или преобразованного представления, которое не позволяет напрямую восстановить исходный признак. Во-вторых, доступ к таким данным должен быть строго разграничен, различные модули не должны обладать одинаковыми правами. В-третьих, необходимо использовать шифрование при хранении и передаче, а также механизмы журналирования. В-четвертых, можно сделать разделение биометрического идентификатора и основную учётную запись, чтобы утечка одного компонента не давала автоматического контроля над всей системой [3].

Отдельного внимания требует вопрос встраивания биометрии в общую систему контроля доступа. С позиции информационной безопасности использовать биометрию как единственный фактор допуска является недостаточным, особенно если рассматриваются административные панели или корпоративные ресурсы. Лучшим вариантом будет выстроить гибридную схему, в которой биометрический фактор дополняется PIN-кодом, одноразовым кодом или проверкой доверенности устройства. Данный подход позволяет компенсировать недостатки биометрии. Если шаблон скомпрометирован, то без второго фактора злоумышленник не получит доступ к системе. В работах по анализу возможностей аутентификации с помощью биометрии для организационно-технической защиты объекта также подчеркивается, что наибольший эффект достигается, когда биометрия встроена в более крупную защитную схему, а не используется изолированно [4].

Для цифровой среды также актуальны мобильные и удаленные сценарии, где пользователь находится вне контролируемого периметра. В таком случае безопасность определяется не только алгоритмом, но и защитой конечного устройства, приложения и канала связи. В таком случае необходимо обеспечить проверку целостности, привязку к доверенному устройству, контроль попыток входа, ограничение повторных запросов и мониторинг аномалий. Если система работает в мобильной среде, можно настроить дополнительные механизмы

проверки состояния устройства, такие как корректность работы сенсора и подлинность приложения.

Организационно биометрическая система должна сопровождаться процедурами реагирования на инциденты. При обнаружении факта подозрительной аутентификации, признаков подделки, компрометации шаблона или повторяющихся неудачных попыток, система должна включать сценарий блокировки.

Таким образом, наиболее практичной моделью защиты биометрической аутентификации в цифровой среде является многоуровневая архитектура, в которой антиспуфинг, криптографическая защита шаблонов, многофакторная аутентификация и мониторинг событий объединены в единый контур управления доступом. На стороне клиента в таком случае должна выполняться первичная проверка качества, а, после передачи данных по защищенному каналу, на стороне сервера шаблон должен сопоставляться в изолированной среде, решение о допуске желательного принимать не с помощью одного модуля, а благодаря связке биометрии и дополнительного фактора доверия. Такой подход позволяет значительно снизить вероятность обхода системы и делает биометрию контролируемым и полезным элементом защиты информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Татаренков, В. С. Обзор компьютерных атак на биометрические системы / В. С. Татаренков // Безопасные информационные технологии : Сборник трудов Одиннадцатой международной научно-технической конференции, Москва, 06–07 апреля 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (Москва), 2021. – С. 318-325. – EDN BSBHSV.

2. Макарова, Д. В. Основные методы сбора и защиты биометрических персональных данных / Д. В. Макарова, В. А. Докучаев // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 7-12. – EDN SFUWRO.

3. Баранов, Р. Г. Биометрические системы аутентификации: перспектива повышения информационной безопасности баз данных / Р. Г. Баранов // Стимулирование научно-технического потенциала общества в Стратегическом периоде: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Воронеж, 04 марта 2021 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной

ответственностью "Агентство международных исследований", 2021. – С. 23-26. – EDN AFACQR.

4. Миронова, Н. Г. Методы антиспуфинга в системах биометрической идентификации и верификации / Н. Г. Миронова // Информационные технологии обеспечения комплексной безопасности в цифровом обществе: сборник материалов IV Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, Уфа, 21–22 мая 2021 года. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2021. – С. 43-51. – DOI 10.33184/itokbco-2021-05-21.8. – EDN KQXTMO.

УДК 621.926.54

Щипцов А.В.

*Научный руководитель: Фадин Ю.М. канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ТРУБНАЯ МЕЛЬНИЦА С ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫМ КЛАССИФИЦИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Трубные мельницы являются одним из наиболее распространённых типов барабанных мельниц (рис. 1), широко используемых в промышленности строительных материалов, в основном для производства цемента [1, 2].

Основной особенностью, отличающей трубную мельницу от остальных типов, является то, что длина барабана значительно превышает его диаметр, как правило, не менее чем в три раза. Такая конструкция позволяет достичь высокой степени измельчения, так как материал продолжительное время находится в зоне помола.

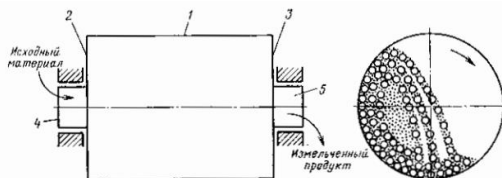


Рис.1. Схема и принцип действия трубной мельницы:

1 – барабан; 2-3 – загрузочное и разгрузочное днища; 4-5 – полые цапфы

Однако из-за того, что процесс измельчения в мельнице происходит достаточно долго, это приводит к повышенным

энергозатратам [3]. Для повышения эффективности измельчения материала было разработано классифицирующее устройство.

Под классифицирующим устройством – понимается внутренняя перегородка, которая отделяет частицы уже готового продукта от еще не измельченного материала, что позволяет измельчить больший объем сырья без повторной загрузки мельницы. Благодаря данному устройству повышается КПД трубной мельницы и уменьшаются энергозатраты.

На рисунке 2 представлена двухкамерная трубная мельница с рециклом измельчаемого материала. Устройство состоит из трубы рецикла 3 с лопастями для транспортировки грубых фрагментов материала 6, стоек 5 и лифтеров 4 [4].

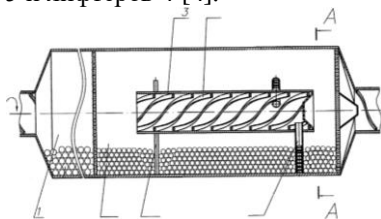


Рис. 2. Схематическое изображение трубной мельницы с внутримельничным классифицирующим устройством: 1 – первая камера; 2 – вторая камера; 3 – труба рецикла; 4 – лифтеры; 5 – стойки; 6 – лопасти для транспортировки грубых фрагментов материала

Принцип работы заключается в следующем. Подаваемый материал измельчается мелющими телами в первой камере грубого и проходит через межкамерную перегородку во вторую камеру. Продолжая измельчаться, сырье продвигается к лифтерам, которые в свою очередь захватывают материал и перемещают его в трубу рецикла (рис. 3, 4) [4].

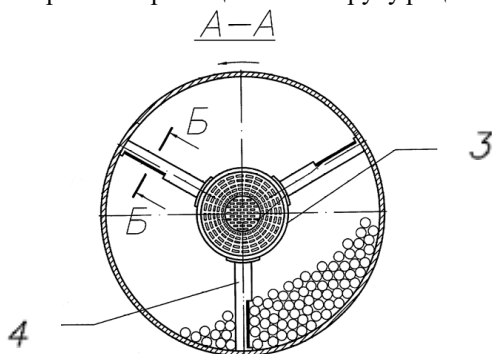


Рис. 3. Взгляд изнутри на трубу рецикла

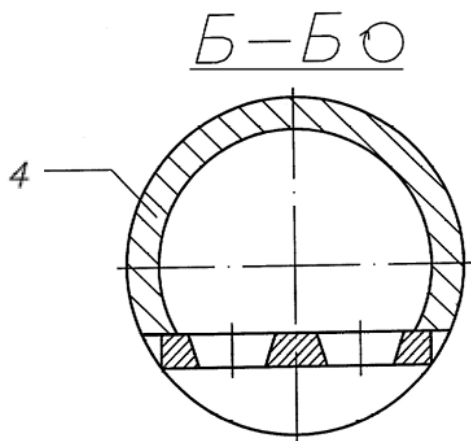


Рис. 4. Трубка лифтера в разрезе

Подаваемый со стороны загрузочного приспособления воздух, проходит через трубу рецикла и выводит из нее фрагменты готового продукта через полую цапфу. Более же крупные фрагменты сыплются в начало камеры тонкого помола на последующий домол и цикл повторяется [4].

По итогу, такая конструкция сокращает время нахождения готового сырья в мельнице, способствует увеличению производительности и уменьшению энергозатрат, посредством более эффективного классифицирования фракций материала.

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. Внутримельничное устройство трубных шаровых мельниц с рециклом загрузки. Белгород; Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 182 с.
3. Фадин Ю.М. Моделирование движения материала по загрузочным трубам в мельницах барабанного типа // Вестник Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 60-62.

4. Патент RU 2246355 С1, МПК В02С 17/06 (2006.01). Трубная мельница с внутримельничным классифицирующим устройством: №2003132214/03: заявл. 03.11.2003: опубл. 20.02.2005 / Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С., Шишков В.В., Хлудеев В.И., Гунько А.И., Неростенко В.З., Брик А.А., Лузгин А.Ф.; заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова

УДК 621.039.58

Юзыкайн П.Э., Вовчук Е.К., Карамов Р.И.
Научный руководитель: Закиров Р.Н., канд. техн. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ В ПРОЕКТЕ ВВЭР-ТОИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Безопасность атомных электростанций зависит не только от наличия защитных систем, но и от их надёжности, автономности и способности работать в аварийных условиях. В проекте ВВЭР-ТОИ применяются активные и пассивные системы защиты, которые дополняют друг друга и обеспечивают устойчивость реакторной установки.

Актуальность темы связана с необходимостью не только сравнить данные системы, но и определить их слабые стороны, а также возможные направления совершенствования. Цель — провести сравнительный анализ активных и пассивных систем защиты ВВЭР-ТОИ, выявить их преимущества, недостатки и перспективы улучшения.

Системы защиты реакторной установки ВВЭР-ТОИ предназначены для предотвращения аварийных ситуаций, ограничения их последствий и перевода энергоблока в безопасное состояние. Их основная задача заключается в сохранении целостности активной зоны, обеспечении отвода остаточного тепла, контроле давления в первом и втором контурах, а также снижении риска выхода радиоактивных веществ за установленные пределы.

Безопасность ВВЭР-ТОИ строится на принципе сочетания различных уровней защиты. Это означает, что при отказе одного элемента или системы должны сохраняться другие технические средства, способные выполнить защитные функции. В проекте используется комбинация активных и пассивных систем безопасности: активные системы обеспечивают управляемое воздействие на

аварийный процесс, а пассивные повышают автономность и устойчивость энергоблока при сложных аварийных условиях.

Особенностью проекта является то, что системы безопасности ВВЭР-ТОИ построены на сочетании двухканальной структуры активных систем и четырёхканальной структуры пассивных систем. Такой подход позволяет объединить преимущества обеих групп: точность и управляемость активных систем с автономностью и надёжностью пассивных средств защиты.

Активные системы защиты ВВЭР-ТОИ предназначены для быстрого и управляемого воздействия на аварийный процесс. Их работа связана с использованием насосов, приводов, клапанов, датчиков, автоматических сигналов и источников электропитания. Такие системы позволяют оперативно изменять параметры реакторной установки: подавать охлаждающую воду, вводить борный раствор, снижать давление и обеспечивать расхолаживание оборудования.

К активным системам можно отнести системы аварийного охлаждения активной зоны, аварийного ввода бора, аварийного расхолаживания, аварийного электроснабжения и автоматизированные системы управления защитой. Их главным преимуществом является высокая управляемость. Они способны точно реагировать на изменение температуры, давления, уровня теплоносителя и других важных параметров.

Однако активные системы имеют и определённые *ограничения*. Их работа зависит от исправности оборудования, наличия электропитания и корректной работы автоматики. При отказе насосов, приводов или управляющих элементов эффективность таких систем может снижаться. Поэтому для повышения надёжности активных систем важны резервирование, регулярная диагностика, техническое обслуживание и автоматический контроль состояния оборудования.

Пассивные системы защиты отличаются тем, что для выполнения своих функций они в меньшей степени зависят от внешнего электропитания и управляющих воздействий. Их работа основана на естественных физических процессах: силе тяжести, естественной циркуляции, разности давлений, теплообмене и использовании заранее накопленных запасов воды или борированного раствора.

В проекте ВВЭР-ТОИ пассивные системы применяются для повышения автономности и устойчивости реакторной установки при аварийных условиях. К ним можно отнести системы пассивного отвода тепла, гидроёмкости аварийного охлаждения, пассивный залив активной зоны, элементы защиты от превышения давления, а также

локализатор расплава, предназначенный для ограничения последствий тяжёлых аварий.

Главное преимущество пассивных систем заключается в их способности сохранять защитные функции даже при отказе отдельных активных элементов или ограниченной доступности электропитания. Они снижают зависимость безопасности от действий персонала и позволяют выиграть дополнительное время для стабилизации состояния энергоблока.

В то же время пассивные системы также имеют *недостатки*. Их действие обычно рассчитано на определённый период времени и зависит от проектных условий аварии. Кроме того, они обладают меньшей гибкостью управления по сравнению с активными системами. Поэтому их совершенствование может быть связано с увеличением времени автономной работы, повышением эффективности теплоотвода и более точным моделированием аварийных процессов.

Для наглядного сопоставления активных и пассивных систем защиты ВВЭР-ТОИ основные критерии сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ активных и пассивных систем защиты ВВЭР-ТОИ.

Критерий сравнения	Активные системы	Пассивные системы
Принцип работы	Насосы, приводы, клапаны, автоматика	Естественная циркуляция, сила тяжести, разность давлений
Зависимость от электропитания	Высокая или средняя	Минимальная
Управляемость	Высокая	Ограниченная
Роль оператора	Возможна при управлении и контроле	Минимальная на начальном этапе
Работа при обесточивании	Требует резервных источников питания	Может сохраняться автономно
Основное преимущество	Быстрое и точное реагирование	Надёжность при отказах и авариях
Основной недостаток	Зависимость от оборудования и питания	Ограниченный ресурс и меньшая гибкость
Последние разработки, подтверждённые патентами	Совершенствование элементов CAOЗ: система фильтрации потока теплоносителя бака-приямка CAOЗ — RU 2761441 C1	СПОТ — RU 2806820 C1; устройство локализации расплава / ферма-консоль УЛР — RU 2810515 C1

Сравнительный анализ показал, что несмотря на высокий уровень надёжности, обе группы систем имеют ограничения. Активные системы зависят от электропитания, исправности оборудования и управляющей автоматики, поэтому требуют развитого резервирования и постоянной диагностики. Пассивные системы менее зависимы от внешних источников энергии, но обладают ограниченным ресурсом действия и меньшей гибкостью управления.

В последние годы развитие систем безопасности ВВЭР связано не только с совершенствованием активных средств защиты, но и с усилением пассивных систем. В проекте ВВЭР-ТОИ активные системы включают аварийное расхолаживание, аварийный ввод бора, аварийное газоудаление и аварийное электропитание, однако их структура оптимизирована за счёт применения развитого комплекса пассивных систем. К современным пассивным решениям *относятся*: гидроёмкости третьей ступени пассивного залива активной зоны, система пассивного отвода тепла и устройство локализации расплава. Эти разработки подтверждаются отраслевыми документами и патентами последних лет, что показывает актуальность дальнейшего совершенствования пассивной защиты реакторных установок ВВЭР.

Активные и пассивные системы защиты в проекте ВВЭР-ТОИ выполняют общую задачу — повышение безопасности реакторной установки, однако отличаются принципом действия и условиями применения.

Проведённый патентный поиск и сравнительный анализ показал, что наиболее эффективным является совместное применение активных и пассивных систем. Такое сочетание позволяет объединить управляемость активных средств защиты с автономностью пассивных решений. Последние разработки в области СПОТ, САОЗ и устройств локализации расплава подтверждают актуальность дальнейшего совершенствования систем безопасности ВВЭР. Перспективными направлениями развития являются повышение надёжности оборудования, внедрение цифрового мониторинга, увеличение времени автономной работы пассивных систем и совершенствование расчётов аварийных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галиев, К. Ф. Опыт ввода в эксплуатацию системы пассивного отвода тепла реакторной установки В-392М / К. Ф. Галиев, С. В. Яуров, Е. В. Гончаров, А. С. Вольнов // Известия вузов. Ядерная энергетика. — 2017. — № 3. — С. 162–170.

2. Андрушечко, С. А. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 : от физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрушечко, А. М. Афров, Б. Ю. Васильев [и др.]. — Москва : Логос, 2010. — 604 с.

3. Баринов А. А. Система пассивного отвода тепла от водородного энергетического реактора через парогенератор: пат. 2806820 С1 Российская Федерация / А. Е. Красильщиков, Д. В. Моисеев, С. И. Шоронов ; патентообладатели: АО «ОКБМ им. И. И. Африкантова», АО «Русатом Оверсиз». — № 2023101315; заявл. 10.10.2022; опубл. 07.11.2023.

4. Сидоров А. С. Устройство локализации расплава: пат. 2696612 С1 Российская Федерация / Н. В. Сидорова, Т. Я. Дзбановская; патентообладатель АО «Атомэнергопроект». — № 2018146642; заявл. 26.12.2018; опубл. 05.08.2019.

5. Курчевский А. И. Система фильтрации потока теплоносителя бака-приямка системы аварийного охлаждения активной зоны: пат. 2761441 С1 Российская Федерация / И. А. Кудрявцев, К. Ю. Коробейников; патентообладатель АО «Атомэнергопроект». — № 2020143963; заявл. 30.12.2020; опубл. 08.12.2021.

УДК 621.791.75

Явнюк В.А.

*Научный руководитель: Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРОЧНОЙ ЯЧЕЙКИ В ПРОЦЕСС СБОРКИ ТРУБНЫХ РЕШЕТОК ИЗ СТАЛИ 12Х1МФ

Роботизация сварочных и сборочных операций является устойчивым направлением повышения технического уровня машиностроительных производств [1]. Для изделий с повторяемой геометрией и значительным числом однотипных соединений применение промышленных роботов снижает влияние человеческого фактора и обеспечивает воспроизводимость траекторий. На этапе проектирования роботизированных систем важны формализованное описание рабочей зоны и автоматизированное построение кинематических моделей; такие подходы представлены в работах по определению рабочей области и генерации систем уравнений для 3-DOF планарных параллельных роботов [2], [3]. Интеграция робота в

действующую линию требует анализа исходного процесса, разработки оснастки, проверки режимов сварки и оценки экономической целесообразности [4], [5].

Объектом рассмотрения является производство трубных решеток из стали 12Х1МФ. Данный материал относится к теплоустойчивым низколегированным сталям, поэтому при выборе режима сварки важно учитывать тепловложение, межслойную температуру, стабильность дуги и последующий контроль качества соединения. Следовательно, роботизация в данном случае должна рассматриваться не как простая замена ручного труда, а как технологическая модернизация всего участка.

Цель исследования - оценить эффективность интеграции роботизированной сварочной ячейки в существующий процесс сборки и сварки трубных решеток при сохранении возможности выпуска изделий различной конфигурации. Для достижения цели были решены следующие задачи: проведен анализ исходного ручного процесса; выбраны робот, сварочное оборудование и захватное устройство; разработана схема позиционирования труб; сформированы программы перемещения и включения сварочной дуги; введен контроль температурного режима; рассчитаны показатели автоматизации до и после внедрения.

Исходный процесс включал ручную установку труб в решетку и последующую дуговую сварку. После модернизации ключевые повторяемые операции были переданы роботизированной ячейке. В качестве манипулятора применен шестиосевой робот KUKA KR 16-2 с контроллером KRC4. Для сварки использован источник Lorch S5 RoboMIG XT с механизмом подачи проволоки и сварочной горелкой. Установка труб выполнялась с применением пневматического захвата и позиционирующего стола, обеспечивающего раскладку элементов по заданной сетке.

Траектории робота задавались последовательностью команд PTP, LIN, CIRC, ARCON и ARCOFF. Для разных проходов использовались отдельные задания сварочного источника, включающие ток, напряжение, скорость подачи проволоки и скорость перемещения горелки. Контроль теплового состояния выполнялся по сигналу пирометра, передаваемому в контроллер через промышленную сеть. При этом температура не рассматривалась как фиксированная «температура плавления» стали; она использовалась как параметр технологического диапазона, связанного с тепловым циклом сварки стали 12Х1МФ.

Для оценки эффекта внедрения использовались коэффициент автоматизации производства, коэффициент автоматизации труда и интегральный уровень автоматизации. Показатели рассчитывались по методике оценки технического уровня производства [5] на основе доли автоматизированных операций, участия ручного труда и распределения машинного времени в технологическом цикле.

С учетом особенностей стали 12Х1МФ в технологическую карту целесообразно включать не только параметры тока, напряжения и скорости подачи проволоки, но и требования к предварительному подогреву, допустимой межслойной температуре, защитному газу, присадочному материалу и последующему контролю сварного соединения. Эти параметры должны задаваться до запуска серийной программы, поскольку робот обеспечивает точное повторение траектории, но не устраняет технологические риски, вызванные неверно выбранным режимом сварки.

Контроль качества рекомендуется выполнять по совокупности признаков: визуально-измерительному контролю геометрии шва, фиксации стабильности дуги, регистрации температурного режима и, при необходимости, неразрушающему контролю сварных соединений. Такой подход позволяет связать показатели автоматизации не только с фактом внедрения робота, но и с технологическим результатом - повторяемостью формы шва, снижением дефектности и уменьшением объема корректирующих операций.

Таблица 1 - Изменение показателей автоматизации после внедрения роботизированной ячейки

Показатель	До интеграции	После интеграции
Коэффициент автоматизации производства	0,18	0,64
Коэффициент автоматизации труда	0,14	0,44
Интегральный уровень автоматизации производства	0,15	0,35

Полученные значения показывают рост коэффициента автоматизации производства с 0,18 до 0,64, коэффициента автоматизации труда с 0,14 до 0,44 и интегрального уровня автоматизации с 0,15 до 0,35. Наиболее выраженный эффект связан с передачей роботу операций с высокой повторяемостью: установки труб, позиционирования горелки и выполнения типовых сварных

соединений. В отраслевом контексте результаты согласуются с тенденцией роботизации отечественных производств [6], расширением парка промышленных роботов в автопроме [7], внедрением интеллектуальных решений на промышленных предприятиях [8], задачами оптимизации конфигураций гибридных сборочных линий [9] и развитием онлайн-мониторинга роботизированной дуговой сварки [10].

Важным преимуществом внедренной схемы является возможность интеграции без радикальной перепланировки цеха. Использование отдельной ячейки, стандартных интерфейсов управления и защитного ограждения позволяет согласовать решение с требованиями безопасности промышленных роботов [11], [12]. Вместе с тем эффективность системы зависит от качества оснастки и корректности программирования: при изменении сетки труб или переходе к нестандартным изделиям требуется переналадка траекторий, что снижает выигрыш при очень малых партиях. Поэтому применение такой схемы наиболее обосновано для повторяемых изделий, где затраты на подготовку программы распределяются на достаточный объем выпуска.

Интеграция роботизированной сварочной ячейки в процесс сборки трубных решеток из стали 12Х1МФ является технологически обоснованным направлением модернизации действующего производства. Исправленный анализ показывает, что основной подтвержденный эффект выражается в росте расчетных показателей автоматизации и в повышении воспроизводимости сварочного процесса. Для дальнейшего повышения научной доказательности работы целесообразно дополнить исследование данными хронометража, статистикой брака, результатами неразрушающего контроля, расчетом срока окупаемости и сравнением различных режимов сварки. Перспективным направлением является развитие многоканального мониторинга дуги и теплового цикла, а также применение цифровых моделей для ускорения переналадки роботизированной ячейки.

Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ имени В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоров, А. П. Повышение качества сварных соединений подвижного состава железнодорожного транспорта / А. П. Сидоров, В. В. Петров // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург : УрГУПС, 2024. — № 1 (57). — С. 45–52.
2. Rybak, L. Automated Determination of the 3-DOF Planar Parallel Robots Workspace Based on a Symbolic Notations / L. Rybak, M. Ceccarelli, D. Malyshev, D. Dyakonov // Mechanisms and Machine Science. — 2026. — V. 192. — P. 248–258.
3. Rybak, L. Algorithm for Automatic Generation of Systems of Equations for Determining the Workspace of a Class of 3-DOF Planar Parallel Robots / L. Rybak, D. Malyshev, D. Dyakonov // Mechanisms and Machine Science. — 2025. — V. 179. — P. 80–89.
4. Тазитдинов, Р. Р. Разработка автоматизированной системы сборки и автоматической сварки трубной решётки из стали 12Х1МФ : выпускная квалификационная работа бакалавра / Р. Р. Тазитдинов ; науч. рук. А. А. Першина. — Томск : НИ ТПУ, 2023. — 87 с.
5. Милехина, А. А. Обоснование повышения технического уровня производства с использованием зарубежных технологий : выпускная квалификационная работа бакалавра / А. А. Милехина ; науч. рук. М. Ю. Зданович. — Красноярск : СФУ, 2017.
6. Робототехника в отечественной промышленности [Электронный ресурс] // Новости ИТ-бизнеса и статьи. — URL: <https://www.novostiitkanala.ru> (дата обращения: 13.05.2026).
7. На АвтоВАЗе уже 1300 роботов: как теперь собирают автомобили Lada [Электронный ресурс] // IXBT. — 2026. — 30 янв. — URL: <https://www.ixbt.com/news/2026/01/30/na-avtovaze-uzhe-1300-robotov-kak-teper-sobirajut-avtomobili-lada.html> (дата обращения: 15.05.2026).
8. Копылова, Л. Е. Анализ опыта внедрения искусственного интеллекта на промышленных предприятиях / Л. Е. Копылова, Е. В. Новиков // Вестник РХТУ им. Д. И. Менделеева. — Москва : РХТУ, 2025. — Т. 2. — С. 122–130.
9. Colledani, M. Multi-objective Early-stage Design of Automotive Hybrid Assembly Lines / M. Colledani, S. Terzi, M. Garetti et al. // Procedia CIRP. — 2015. — Vol. 28. — P. 125–130. — DOI: 10.1016/j.procir.2015.04.021.
10. Bai F., Lubecki T. M., Lin W. Robotic arc welding with on-line process monitoring based on the LMM analysis of the welding process

stability // IEEE AIM. – 2016. – P. 566-571. – DOI: 10.1109/AIM.2016.7576828.

11. ГОСТ 26056-84. Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические условия. — Введ. 1985-01-01. — Москва : Изд-во стандартов, 1984. — 12 с.

12. ГОСТ 12.2.072-98. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний. — Введ. 1999-01-01. — Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1999. — 24 с.

Содержание

¹Воропаев С.Е.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARIMA-МОДЕЛЕЙ.....3

¹Колесников С.Е.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОЭНКODЕРОВ.....7

¹Крутикова М.А., ²Серых В.Д.

АНАЛИЗ АВАРИЙ – КЛЮЧ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ..... 12

¹Нестерова Д.И.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА МЕТОДОМ БОКСА–
УИЛСОНА 16

¹Усачев Д.В., ¹Коломыцева С.В., ²Чуева Ю.А.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К УТИЛИЗАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ
ШИН

Абдуллажонов А.А., Наumenко В.В., Хохлов Д.О., Калашник И.А.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ..... 23

Александров Л.И.

МИКРОКЛИМАТ ОСТЕКЛЕННОЙ ЛОДЖИИ В
МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ ПРИ РАБОТЕ
ЕСТЕСТВЕННОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КВАРТИРЫ 27

Антонович А.П., Карпов А.Р.

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В
ПРАКТИКУ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ..... 31

Анциферова А.А.^{1,2}, Бусленко А.В.¹

РАССУЖДЕНИЕ О МЕХАНИЗМЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ СЕРЕБРА 35

Афанаскина А.Н., Володина А.В., Иванушкин С.А.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЫТОВЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ-РАДИОМЕТРОВ НА ПРИМЕРЕ FNIRSI GC-01 и МКС-03СА.	39
Бадалян Л.П.	
НЕВИДИМАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КАЧЕСТВА: КАК МЕТРОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАШУ БЕЗОПАСНОСТЬ КАЖДЫЙ ДЕНЬ.....	44
Бахмутова С. А., Галкина Э.Е.	
ОЦЕНКА ДОСТАТОЧНОСТИ МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В СФЕРЕ МНОГОУРОВНЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И РАЗВИТИЯ БИБЛИОТЕК.....	48
Башков Д.Р.	
МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	52
Беленцова Ю.С., Кудрявых А.Д.	
РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ФОРМ ПРОТОКОЛОВ СПОРТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ И СПОРТА БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА.....	57
Белоусова М.В., Войтенко Д.С.	
ИСТОЧНИКИ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ В УЧЕБНЫХ КАБИНЕТАХ ПО ДЕРЕВООБРАБОТКЕ.....	61
Беляев В.С.	
КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ: ТЕХНОЛОГИИ DOCKER И KUBERNETES.....	66
Бирюкова С.П., Крузин К.О., Кузьмин Р.Е.	
ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА	70
Бражник Ю.В., Науменко В.В., Калашник И.А.	

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	75
Брижанев А.А., Шаталов Д.А.	
ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ КОРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЯЖУЩЕЙ МАТРИЦЫ АРБОЛИТА.....	79
¹ Бусленко А.В., ¹ Никонов И.В., ^{1,2} Новиков И.С.	
РОЛЬ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА.....	83
Быковский М.М., Внуковская В.А., Малахов А.С.	
НАЗЕМНАЯ АВТОНОМНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АПК.....	85
Быценко М.В., Клименко М.А., Вычик В.П.	
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БЫСТРОСЪЕМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОЛЕЗНЫХ НАГРУЗОК НА БАС	89
Бычков М.Э.	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНТЕГРАЦИИ В ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ	92
Василов Д.А., Бухтияров И.Ю., Сопов А.Н.	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	95
Васинкин К.А.	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИОТ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ОНЛАЙН-МОНИТОРИНГА	100
Вдовина Ю.Н.	
МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ БПЛА.....	104
Волкова В.Н.	

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОГАЗА И БИОКОМПОСТА	109
Галкина Э.Е.	
МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	114
Гапич А.А., Быценко М.В., Резанов Д.С.	
АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО КАТКА ДУ-96.....	118
Губарева А.В.	
ЦИФРОВАЯ СОЦИАЛИЗАЦИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К МОДУЛЮ «ПОРТФОЛИО»	122
Гуденко О.В., Пономарёв Д.В., Несмеянов Н.П.	
СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БЕТНОСМЕСИТЕЛЯ.....	126
Гуров Ф.В.	
ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ОТКАЗА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	129
Гурьков Э.В., Кравченко Н. Ю.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СПОСОБОВ РАСЧЁТА СМЕТНОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ .	134
Донченко М.С.	
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТОДОМ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКИ	139
Доронин К.Е.	
БЕТОНЫ ДЛЯ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	144
Дуганов М.В.	
ЕДИНЫЙ ПРОГРАММНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТУР ЛОКАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ БПЛА	147

Дятлов Н.Ю., Матусов М.Г., Исса Ю.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ С
РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ФУТЕРОВОК..... 152

Егоркин А.Е., Козлов И.А.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ УЧЕБНОГО МОДУЛЯ ПО
РЕГРЕССИОННОМУ АНАЛИЗУ 155

Епифанов А.В., Рябинин Д.О.

РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ 159

Ерин В.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ИМУЩЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА АГРОХОЛДИНГА НА
ОСНОВЕ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ..... 164

Ермак Я.Ю., Гиенко А.С., Алифанова Э.С.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ..... 168

Ефанов А.Д., Кизиллов О.М., Седов С.С.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ
БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 173

Закирова Ю.С., Маслов Н.А., Читаев К.М.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА НА
СПОСОБНОСТЬ КАМНЯ К САМОВОССТАНОВЛЕНИЮ..... 177

Захаркин Д.И.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ
ДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП
НАСЕЛЕНИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ..... 183

Зверева В.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ
ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОМОНТЕРОВ КАК МЕТОД
СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ..... 188

Зюзин Д.И.

АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (MSA) ВАЖНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ПОВСЕМЕСТНОГО ВНЕДРЕНИЯ	192
Иваненко К.А.	
ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	197
Ильин Д.А.	
АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КВАРТИР В МНОГОКВАРТИРНОМ ДОМЕ	199
Исса Ю.М., Белозерских И.В., Токмаков А.С., Алешкин К.К.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПАДЕНИЯ МЕЛЮЩЕГО ТЕЛА В БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЕ	202
Иссарь Е.А., Таркайло А.А.	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	207
Канищев Д.В.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ СРЕДЫ И КОРРЕКТИРОВКА ТРАЕКТОРИЙ БПЛА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	211
Кизилова Э.А., Нестеров Д.В., Усиков В.В.	
СИСТЕМА ЗАХВАТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ	216
Киреев А.Е.	
РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ КОАГУЛЯЦИИ-ФЛОКУЛЯЦИИ	220
Киреев В.Е.	
АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЫЛИ В АСПИРАЦИОННЫХ УКРЫТИЯХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УЗЛОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВОЗДУШНО-РЕЦИРКУЛЯЦИОННОГО ЗАТВОРА С ЭФФЕКТОМ КОАНДА	225
Кирзеев В.В., Кумаритова А.С.	

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ: РОССИЙСКИЕ РЕАЛИИ И ИННОВАЦИИ	230
Киященко В.В.	
РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА МИКРОСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ	233
Клименко М.А., Быценко М.В., Вычик В.П.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СИЛОВОЙ РАМЫ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	238
Коваленко М.А.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СУММЫ ЗАТРАТ НА РЕКОНСТРУКЦИЮ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	241
Козлов И.О., Калмыков Н.Н.	
ЦИФРОВАЯ ДОСТУПНОСТЬ МАССОВЫХ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНОЙ ИНКЛЮЗИИ.....	246
Кокнов Н.С.	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ.....	251
Колесников В.Д.	
КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ЧЕРТЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ КОМПОНЕНТ	256
Колобков Г.Ю.	
ПРОБЛЕМА ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ АВИАНИКИ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ	260
Коломыцева С.В., Усачев Д.В., Минасова В.Е.	
ПОКОЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОВ. IV ПОКОЛЕНИЕ ЭВМ.	265
Колосов Г. В.	

АНАЛИЗ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ САОЗ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ВВЭР-1200	271
Костикова В.В.	
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТАМОЖЕННОЙ СЛУЖБЫ ..	273
¹ Крутикова М.А., ² Серых В.Д.	
ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ МОСТОВЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ.....	276
Кудрявых А.Д., Беленцова Ю.С.	
СОВЕРШЕНСТВОАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКЕ НА СТАДИОНЕ БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА	282
Кузьмин Р.Е., Мельтешинова Д.Д., Хозяинов С.А.	
МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ И БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	286
Кусенко К.А.	
ОБЗОР НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АЛГОРИТМАХ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕО	291
Кхалифа М.	
ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ И ЕГО СТРУКТУРЫ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	294
Лебедев А.Е.	
ИННОВАЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	299
Левшин А.М.	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	304
Лимощенко В.А.	

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН АВАРИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	309
Мартелов Н.В.	
ОЦЕНКА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ	313
Маховицкий В.Г.	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ, РАСЧЁТНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСЕРАДИАЛЬНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОЛЕС.....	316
Мельтешинова Д. Д., Пузанова В. В., Кузьмин Р. Е.	
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАКРЫТЫХ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	324
Минкина А.А.	
АППАРАТНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	329
Миншаехов М.И., Мочалов Н.С., Корнилов Н.Д.	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ УСТАНОВОК	333
Моляренко Е.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВОК.....	337
Наумец Р.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON В СОЗДАНИИ ПРОСТЫХ ИГР.....	342
Немчинова Н. Р., Нижегородцева П.Ю., Семенихина М.А.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ В МЕДИЦИНЕ	346
Несмеянов Н.П., Исса Ю.В., Смирнов Д.В., Атласюк В.А.	

ОСОБЕННОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПОМОЛЕ ЦЕМЕНТА В БАРАБАННЫХ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ.....	351
Нижегородцева П.Ю. Немчинова Н.Р., Хозяинов С.А.	
ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МКС.....	356
Никонов И.В. ¹ , Новиков И.С. ^{1,2} , Бусленко А.В. ¹	
КИНЕТИКА НАКОПЛЕНИЯ СЕРЕБРА ВО ВНУТРЕННИХ ОРГАНАХ И ОТДЕЛАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА	361
Никонов Н.А., Григорян Э.С.	
МЕТОДЫ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ.....	363
Новиков И.С. ^{1,2} , Никонов И.В. ¹ , Бусленко А.В. ¹	
БИОКИНЕТИКА СЕРЕБРА В ОРГАНИЗМЕ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ ЦИТРАТОМ СЕРЕБРА.....	369
¹ Панченко А.В., ¹ Серых В.Д.	
ЧАСТНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ФУНКЦИОНАЛА В КРИТЕРИЯХ СИНТЕЗА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	371
Педенко В.А., Складорова В.Е.	
АГРОТУРИСТИЧЕСКИЙ МАРШРУТ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ СОЦИАЛЬНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОСНОВЫ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ.....	374
Перепёлкин М. В	
СИНТЕЗ ЛЧМ СИГНАЛА ЗАДАННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И ПОЛОСЫ ПУТЁМ ОБРАТНОЙ БЫСТРОЙ СВЁРТКИ С ДАННЫМИ, ПРОШЕДШИМИ НЕОБРАТИМУЮ ОБРАБОТКУ	378
Петрухина Э.П., Петров И.С., Хозяинов С.А.	
ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ СВОЙСТВА РАДИАЦИОННО- ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	381
Петухов Е.А. ¹ , Катаев А.В. ²	

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЛОКОВ ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	386
Пикуль А.С.	
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ДИПФЕЙКОВ	389
Подберезных А.А.	
ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ РУЧНОГО ИНЖИНИРИНГА ПРИЗНАКОВ К СВЁРТОЧНЫМ НЕЙРОННЫМ СЕТЯМ.....	392
Попов А.П., Сырцев П.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД.....	397
Пузанова В. В., Мельтешнинова Д. Д., Семенихина М. А.	
МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТАРЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ.....	401
Пьянзина М.А., Кухта С.С.	
МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ.....	406
Робенсон Дельва	
АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА.....	410
Савельева М.А.	
РОЛЬ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ.....	413
Савенко Г.А.	
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДЫМОВОГО СЛОЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ С СИСТЕМАМИ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	417
Самбольская К.В., Кравцов А.А.	

АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОРГАНОВ СЛУХА У РАБОТНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	421
Самодуров М.А.	
МЕТОДИКА СИНТЕЗА И МОДИФИКАЦИИ ФРАГМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ	426
Свищев С.Е.	
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УКРУПНИТЕЛЬНОЙ СБОРКЕ И МОНТАЖУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК В ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ	431
Севрюков А.А.	
ОБЗОР АСПЕКТОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	436
Семенихина М.А, Кузьмин Р.Е, Нижегородцева П.Ю.	
ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР	439
Серова А.С., Смирнов Д.С.	
ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НАИМЕНОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ....	444
Сизяков И.Р.	
ВЫБОР СТРУКТУРЫ ДЛЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	450
Скворцов А.А., Соловьев Д.С., Лалаян Р.А.	
ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА К ДАННЫМ	454
Скиба К.В.	

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	459
Стрючкова М.В., Сказозуб З.Ю., Скирдин Д.С.	
ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ТКАНЕЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК	463
Ткачук Е.В.	
ОПТИМИЗАЦИЯ ТОРМОЗНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА.....	467
Тополян А.В.	
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СИНТАКСИЧЕСКИ НЕКОРРЕКТНЫХ ФРАГМЕНТОВ КОДА НА ОСНОВЕ ТАКСОНОМИИ ПРОМПТОВ.....	471
Удовиченко В.М.	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ЖИЛОМ ДОМЕ С УЧЕТОМ МЕЖКВАРТИРНЫХ ПЕРЕТОКОВ ТЕПЛОТЫ	475
Усачев Д.В., Голикова Д.О., Рябухин Е.И.	
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛА ФАКЕЛА ПУЛЬВЕРИЗАТОРА.....	480
Фоменко О.С.	
МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЖАТЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОБОЙМАМИ ИЗ УГЛЕВОЛОКНА	484
Хаялиев О.В., Красильникова К.А., Скирдин Д.С.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БРУСЬЕВ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ	489
Хромых К.А., Алешкин К.К., Хохлов Д.О.	
КЛАССИФИЦИРУЮЩАЯЯ ФУТЕРОВКА ДЛЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	493

Цветкова Е.В.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ВЫСОКОПРОЧНОГО АРБОЛИТА НА
ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ПРОЧНОСТИ..... 496

Чаплыгин Д.Ю., Холод П.В.

ПЕРСПЕКТИВЫ УМЕНЬШЕНИЯ ГАБАРИТОВ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ СТАНКОВ И ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРАХ..... 502

Черепов В.В.

ИЗМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
ПО ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ПОМОЩИ
ОБНОВЛЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ..... 505

Чернобровенко А.Е., Письменный А.Б.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПРОКСИРОВАНИЯ
ТРАФИКА ЧЕРЕЗ SOCKS5 ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ЗАМЕЩЕНИИ
НАБЛЮДАЕМОГО IP-АДРЕСА КЛИЕНТА..... 510

Чуйко К.К.

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
..... 514

Шабалин С.И.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ
ВАТЫ..... 518

Шайдуллина З.И.

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ
ПРИОРИТИЗАЦИИ ЗАЯВОК В КОРПОРАТИВНОЙ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ 525

Шалпегин Д.С.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ
ПОМОЩИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ С

ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ ДЛЯ СОХРАННОСТИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛАХ	529

Шевцов Д.В.

ПАРОСТРУЙНЫЕ ЭЖЕКТОРНЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ.....	533

Шимарева М.А.

БЕЗОПАСНОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АУТЕНТИФИКАЦИИ В ЦИФРОВОЙ СРЕДЕ	536

Щипцов А.В.

ТРУБНАЯ МЕЛЬНИЦА С ВНУТРИМЕЛЬНИЧНЫМ КЛАССИФИЦИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ.....	540

Юзыкайн П.Э., Вовчук Е.К., Карамов Р.И.

АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ В ПРОЕКТЕ ВВЭР-ТОИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	543

Явнюк В.А.

ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРОЧНОЙ ЯЧЕЙКИ В ПРОЦЕСС СБОРКИ ТРУБНЫХ РЕШЕТОК ИЗ СТАЛИ 12Х1МФ	547