



**ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
НА ТРАНСПОРТЕ**

Омск 2026

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Омский государственный университет путей сообщения



ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы двадцатой научной конференции,
посвященной Дню Российской науки

(9 февраля 2026 г.)

Омск 2026

УДК 629.4; 656.2
ББК 39.2

Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы двадцатой научной конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2026. 278 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по ряду научных направлений, посвященных технологическому обеспечению ремонта и технического обслуживанию подвижного состава; повышению качества ремонта подвижного состава; внедрению ресурсосберегающих технологий в хозяйствах железных дорог; повышению безопасности движения железнодорожного транспорта; развитию информационных систем учета и контроля; внедрению систем качества в структурных подразделениях железных дорог; исследованию тягово-энергетических показателей электровозов в условиях эксплуатации; повышению качества электрической энергии на тягу поездов; вопросам совершенствования образовательных процессов и системы подготовки кадров.

Сборник может быть полезен для студентов, научных сотрудников и специалистов транспорта и промышленных компаний.

Библиогр.: 272 назв. Табл. 19. Рис. 99.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко (отв. редактор);
доктор техн. наук, доцент А. Н. Смердин.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО: ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРА, ИНФРАСТРУКТУРА

Минаков В. А., Носков В. О. От данных к модели: комплексный подход к сегментации объектов пути для компьютерного зрения на локомотивах	5
Семенченко К. С., Бычков Е. Д. Синтез нечетких регуляторов.....	10
Меньшиков С. А., Ковалев А. А. Совершенствование системы мониторинга гололедообразования на проводах контактной подвески.....	16
Гудиев Д. М., Исламов А. Р. Применение фотограмметрии и компьютерного зрения в геодезических изысканиях железнодорожного пути.....	23
Голочалов Н. С., Рожкин Б. В., Швырёв И. В. Разработка имитационной модели движения пакета поездов.....	31
Клюка В. П., Сергеев П. Б., Мосол С. А. Особенности конструкции и характеристик тормозных цилиндров современного железнодорожного подвижного состава, пути повышения эффективности их применения	40
Ахмед С. Д., Митрохин В. Е. Совершенствование методики определения параметров среды прокладки кабелей телекоммуникаций с целью повышения надежности функционирования.....	51
Калин К. А. Анализ статистики отказов моторвагонного подвижного состава и пути повышения надежности	67
Крылов Н. К. Управление тяговыми преобразователями электровозов переменного тока в режиме выдачи мощности.....	72
Маслов В. В. Методы корреляционно - регрессионного анализа для выявления факторов влияющих на расход ТЭР.....	79
Вербицкий А. В. Моделирование работы электровоза 2ЭС6 с пневмообдувочной машиной ПОМ-1М.....	86
Минжасов Е. И., Попов Д. И. Разработка основных принципов проектирования систем испытания асинхронных двигателей.....	93
Васильева В. А., Гриц Д. Б. Силовое взаимодействие в узле скользунов грузового вагона.....	99
Баканова Е. И., Незевак В. Л. Структура и ключевые требования к системам мониторинга аккумуляторных батарей тяговых подстанций.....	106
Чирков А. А. Проблематика регистрации частичных разрядов в тяговых электрических машинах	113
Блинов П. Н., Ершова С. А. Актуализация «Правил тяговых расчетов для поездной работы» – требование времени.....	119
Васильев А. В. Оценка освоения образовательной программы и прогноз карьерных траекторий с использованием анализа больших данных.....	125
Петракова А. Г., Кирпиченко Е. М. Анализ состояния безопасности движения при пассажирских перевозках на свердловской железной дороге	131
Минаков В. А., Ершова С. А. Анализ эффективности применения быстровозводимых ангаров для исключения «горячего простоя» локомотивов в зимний период.....	138
Миллютина Л. В. Определение технического состояния ДГУ тепловозов с использованием параметрических методов автоматизированного контроля при проведении нагрузочных испытаний.....	142
Павлов В. А., Кодак В. В., Шаханов О. А. Статистическая оценка надёжности тепловозов как инструмент совершенствования конструкции и развития технической диагностики и системы ремонта тепловозов	154

СЕКЦИЯ 2: ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Капанина Д. В.	Анализ эффективности использования солнечного коллектора для системы отопления: математическое моделирование и анализ параметров.....	161
Бархатов И. Р.	Разработка аппаратно-программного комплекса регулирования расхода и параметров биологической жидкости в замкнутом контуре.....	167
Ларин Е. С.	Анализ методов и средств дистанционной диагностики технического состояния подвижных объектов.....	172
Захаров М. И.	Анализ систем самозапуска синхронного электродвигателя.....	177
Бойков Н. С.	Исследование причинно-следственных связей интенсивности изнашивания гребней колесных пар электровоза серии 2ЭС6.....	182
Никонов Д. М., Бычков Е. Д.	Применение когнитивного подхода для решения квалитетической задачи.....	189
Ерискин Р. А.	Разработка имитационной модели статком в системе тягового электроснабжения.....	196
Афанасьева Н. С., Гнидко К. О., Елизаров Д. А., Орловский Е. П., Разумов И. А.	Методы распознавания автоматизированных средств подмены пользователя в информационной среде.....	202
Берестов Д. К., Жуков Д. В.	Цифровое применение BIM-технологий при проектировании теплоизоляции трубопроводов объектов энергетики.....	207
Лексутов И. С.	Особенности цифровых двойников в эксплуатации вагонов.....	211
Д. В. Муравьев, М. Мухаметрахимов	Анализ устройств открывания и закрывания крышек разгрузочных люков полувагона.....	215
Исупова Л. В.	Гибридные системы с дронами: дистанционный контроль тестов преобразователей.....	223

СЕКЦИЯ 3: ЭКОНОМИКА, ОБЩЕСТВО И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ

Рекунчак С. П.	Метамодерн как актуальное состояние культуры.....	228
Корпусова Н. А.	Цикличность воспроизводства человеческих ресурсов в АПК Омской области: анализ на основе микроданных.....	234
Кузнецов В. С.	Экзистенциальное молчание в мире тотального техногенного шума.....	239
Мокрякова Е. Е.	Экосистемная модель формирования профессиональных компетенций выпускников вузов через реализацию молодежных проектов: теоретико-методологические аспекты.....	244
Коновалова О. Н.	Внедрение ESG-принципов в вузах как фактор повышения экономической безопасности.....	249
Визминтинов А. А., Грачева Н. П., Стрельцова Т. В., Сухих С. Л., Шастин А. В.	Способы привлечения ученых венчурного капитала.....	253
Куршакова Н. Б.	Методические аспекты подготовки учебного издания по экономической дисциплине для студентов технической специальности.....	259
Бобчинец А. С.	Анализ методов и средств повышения энергетической эффективности рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации.....	266
Никифоров М. М., Храпов К. А.	Основы обеспечения энергетической безопасности электрической тяги поездов.....	272

СЕКЦИЯ 1: ТРАНСПОРТ БУДУЩЕГО: ТЕХНОЛОГИИ, ЦИФРА, ИНФРАСТРУКТУРА

УДК 629.4.053.2

В. А. Минаков, В. О. Носков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОТ ДАННЫХ К МОДЕЛИ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СЕГМЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПУТИ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ НА ЛОКОМОТИВАХ

В научной работе рассмотрены вопросы методологии подготовки и обработки изображений объектов железнодорожной инфраструктуры для последующего использования в системах машинного обучения, включая создание размеченного датасета, сравнительный анализ алгоритмов сегментации и оценку эффективности моделей машинного обучения. Результаты работы предназначены для работы технологии технического зрения на локомотивах.

Ключевые слова: техническое зрение, сегментация изображений, железнодорожная инфраструктура, техническое зрение, машинное обучение.

Автоматизация процессов контроля и диагностики железнодорожной инфраструктуры является критически важной задачей для обеспечения безопасности движения и бесперебойности перевозок. Внедрение систем компьютерного зрения на подвижном составе позволяет осуществлять непрерывный мониторинг состояния объектов инфраструктуры в режиме реального времени, однако эффективность таких систем напрямую зависит от качества сегментации и классификации изображений [1].

Задачей исследования является адаптация современных алгоритмов семантической сегментации для специфических условий железнодорожной съемки с учетом динамического характера съемки, переменных ракурсов и необходимости обработки в режиме реального времени. Общий принцип обработки и сегментации изображения представлен в виде алгоритма на рисунке 1.

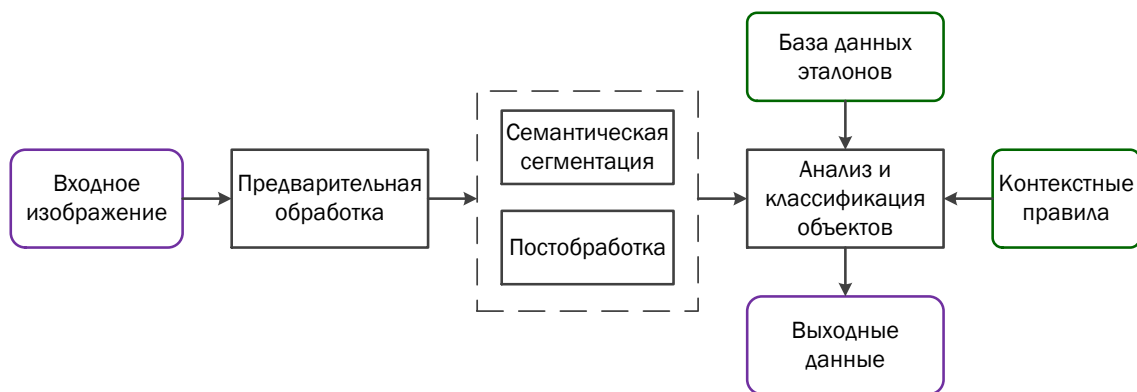


Рисунок 1 – Алгоритм обработки и сегментации изображения

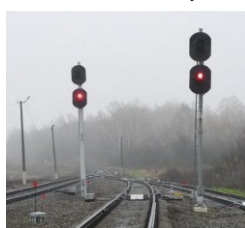
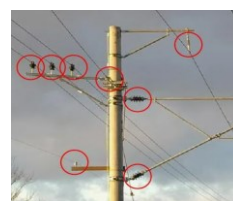
Алгоритм семантической сегментации видеоизображений, получаемых с камер, установленных на локомотиве должен присваивать каждому изображению один из заранее определенных классов: фон, светофор, переезд, стрелочный перевод, человек, животное, столб, мост, подвижной состав, другое препятствие (рисунок 2). Традиционно для этого используются методы, основанные на анализе цветов, текстур и границ, однако при условии движения с изменчивой окружающей средой (переменное освещение, погодные условия, смена рельефа) данные методы показывают низкую эффективность.



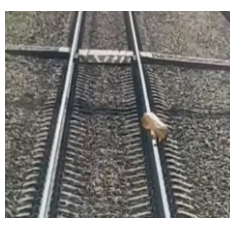
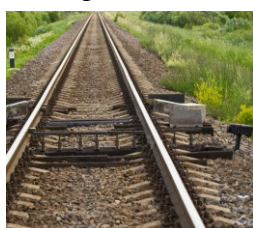
Объекты пути и путевого развития



Объекты электроснабжения



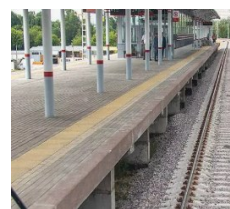
Объекты сигнализации



Препятствия и посторонние объекты



Искусственные сооружения



Платформы



Рисунок 2 – Классы сегментированных изображений

При сегментации изображений важна точность положительно сегментируемой области, исключая случаи, когда происходит распознавание сегмента, который лишь частично является основной истинной площадью. Такие методы оценки качества моделей являются метриками [2], например F-мера включающая в себя положительные результаты (*Precision*) и точность (*Recall*):

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP};$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN},$$

где *TP* – положительно сегментируемая область;

FP – ложноположительно сегментируемая область;

FN – ложноотрицательно сегментируемая область.

Для определения средней точности и полноты сегментируемых областей, применяется сбалансированный F-показатель:

$$F = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}.$$

Анализ существующих методов и алгоритмов обработки и сегментации изображения позволяет выделить основные модели, среди которых наиболее применимыми являются алгоритмы основанные на применении моделей машинного обучения и искусственный нейронных сетей.

Для успешной реализации алгоритмов по сегментации изображений необходимо формирование наборов данных для обучения моделей распознавания.

На сегодня сформировано несколько наборов данных (изображений) для возможного обучения моделей сегментации объектов железнодорожной инфраструктуры можно отметить: RailSem19, FRSign, RAWPED, Rail-DB, RailSet, GERALD, OSDaR23, RailDataSets [3]. Также необходимо отметить инструмент YOLO (различных версий) для задач распознавания образов, в том числе и железнодорожной инфраструктуры, позволяет не только обнаруживать, но и точно сегментировать объекты, выполняя оценку их положения относительно железнодорожных путей и последующего принятия решения в автоматизированных системах безопасности.

Модели распознавания образов позволяют проводить сегментацию объектов транспорта в режиме реального времени. На рисунке 3, 4 приведены результаты анализа изображений при движении локомотива и объектов железнодорожной инфраструктуры.

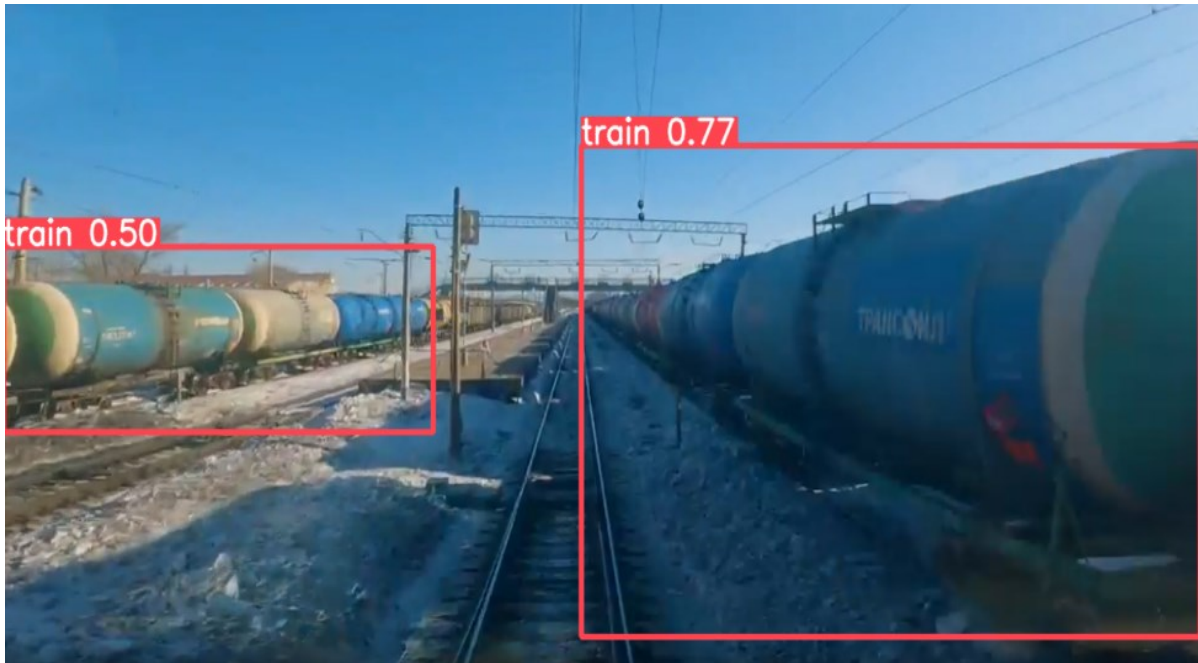


Рисунок 3 – Сегментация объектов при движении локомотива



Рисунок 4 – Сегментация объектов железнодорожной инфраструктуры

Результаты обработки представленных изображений железнодорожной инфраструктуры подтверждает, что модели распознавания образов способны сегментировать и обнаруживать движущиеся объекты (подвижность) и стационарное оборудование (светофоры).

Подход к решению задачи семантической сегментации изображений для систем технического зрения железнодорожного локомотива включает использование современных архитектур глубокого обучения [4], но и необходимых дополненных решениями на этапах пред- и постобработки регистрируемых данных. Решение направлено на преодоление специфических вызовов железнодорожной среды, а практическая значимость подтверждает высокий потенциал внедрения системы для кардинального повышения безопасности на железнодорожном транспорте.

Дальнейшие работы данной тематики направлены на реализацию и тестирование алгоритмов, фиксацию более обширной базы данных и оптимизацию моделей на встраиваемых вычислительных системах с ограниченными ресурсами.

Список литературы

1. Фоменко, В. К. Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов. Технология машинного зрения на локомотивах для идентификации путевых сигналов // Мир транспорта. – 17(6). – 2019. – С. 62-72. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-62-72>.
2. Гергет, О. М. Методы и алгоритмы сегментации изображений // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – № 2(08). – 2020. – С. 11-16.
3. Федоров, В. А. Сегментация объектов техническим зрением в автоматизированных системах управления железнодорожным подвижным составом // Transport automation research. – № 3. – Vol. 11, September 2025.
4. Казанская, Л. Ф. Беспилотные поезда при грузовых и пассажирских железнодорожных перевозках / Л. Ф. Казанская, П. В. Алпаева, А. А. Щипицына // Транспортное дело России. – 2023. – № 6. – С. 128-131.

К. С. Семенченко, Е. Д. Бычков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

В статье описывается работа нечетких регуляторов, структура нечетких регуляторов, описаны принципы работы и проводимые функции. В заключении подведены итоги обзора.

Ключевые слова: контролеры, пропорциональный контролер, интегральный контролер, дифференциальный контролер.

Система управления с априорно неопределёнными параметрами требует применения методов, способных обрабатывать нечеткость и неопределённость информации. Нечеткие регуляторы предоставляют инструменты для формирования управляющих воздействий на основе лингвистических описаний и нечётких правил. Синтез таких регуляторов опирается на метод Заде, который представляет собой формальный аппарат для описания и обработки нечетких множеств. Важной особенностью данного подхода является использование T - и S -норм для реализации логических операций "И" и "ИЛИ", что обеспечивает гибкое объединение информации, поступающей из различных источников.

При проектировании нечетких регуляторов для систем управления беспроводными каналами связи модели динамики канала, описывающие изменчивость параметров передачи, служат основой для постановки задачи регулирования и выбора управляющих воздействий. Эти модели позволяют сформировать критерии адаптивного управления, учитывающие временные вариации и неопределённости, что критически для поддержания качества и устойчивости связи в реальных условиях.

Процесс синтеза нечеткого регулятора начинается с определения структуры входных переменных. Обычно в системах с неопределённостями применяют регуляторы с одним, двумя или тремя входами, которые соответствуют ошибке, изменению ошибки и её дифференциалу - сигналам, отражающим расхождение между заданными и фактическими значениями параметров канала или состояния объекта управления. Такая классификация

позволяет варьировать степень сложности регулятора в зависимости от требований к точности и быстродействию [1].

Выбор функций принадлежности для каждой входной переменной является ключевым этапом. Наиболее распространены треугольные функции с постоянной высотой, которые обеспечивают корректную фаззификацию значений, даже когда параметры выходят за пределы нормального диапазона, предотвращая нулевую активацию правил и способствуя плавности управления. Каждой функции принадлежности соответствует лингвистический терм - например, «мало», «норма», «больше» - что упрощает формулировку экспертных правил и делает систему более прозрачной для интерпретации и настройки [15].

Формирование базы правил строится на логической схеме, связанной с поведением управляемой системы. В регуляторах с нечеткой логикой правила трактуются как «много - уменьшаем», «норма - не трогаем», «мало - увеличиваем». Такая лингвистическая формулировка позволяет легко интегрировать знания экспертов и адаптировать систему под характерные особенности динамики беспроводного канала. Комбинация термов для нескольких входных переменных даёт полный набор правил, который покрывает пространство состояния системы управления [2,3].

На практике синтез нечеткого регулятора включает поэтапное усложнение правил и их оптимизацию с использованием критериев качества управления. Оптимизация параметров функций принадлежности и весов правил часто проводится с минимизацией среднеквадратичного расхождения между заданным и фактическим состоянием, что улучшает переходные процессы и устойчивость объекта управления. Классический пример - регулирование угла атаки ракеты через угол поворота руля, где оптимизированные параметры нечеткого регулятора обеспечивают более точное управление по сравнению с традиционным ПИД-регулятором [4].

Дефаззификация, завершающая цепочку управления, преобразует множество оценок и степеней принадлежности, полученных на выходе базы правил, в конкретное управляющее воздействие. Способы дефаззификации, такие как центр масс фигуры или центр масс точек, выбираются исходя из требований к качеству и вычислительной эффективности. Выбор метода дефаззификации вместе с конфигурацией функций принадлежности существенно влияет на итоговую производительность регулятора и чувствительность к вариациям параметров [5].

Структурно нечеткие регуляторы могут быть реализованы как цифровые

устройства с чётко заданными входами, базой правил и механизмами фаззификации и дефаззификации, что обеспечивает модульность и возможность интеграции с системами обработки сигналов в беспроводных каналах. Использование именно нечетких регуляторов позволяет учесть неопределённости и аномалии, присущие каналам связи в условиях помех, многолучевого распространения и временных затуханий, благодаря гибкому описанию и адаптивной обработке данных.

Синтез нечеткого регулятора - комплексная процедура, объединяющая формирование лингвистических правил, выбор и настройку функций принадлежности, а также оптимизацию параметров системы управления с учетом моделей динамики канала. Следующим важным шагом при исследовании таких систем является анализ их устойчивости, который позволяет оценить способность регулятора поддерживать стабильную работу в условиях изменяющихся и неопределённых параметров среды передачи.

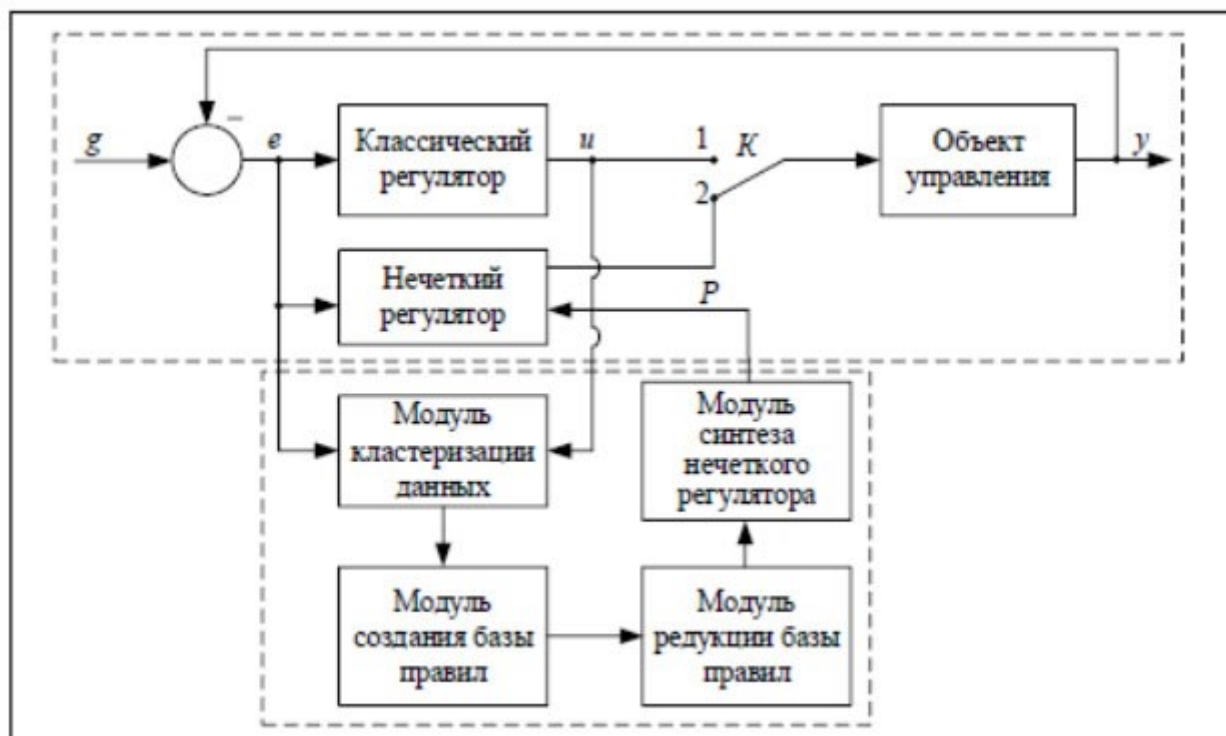


Рисунок 1 – Структурная схема построения нечеткого регулятора на основе формальных правил принятия решений

Классические контроллеры управления в беспроводных сетях часто демонстрируют ограниченную способность адаптироваться к быстро меняющимся и неопределённым условиям передачи, характерным для динамичной среды радиосвязи. Традиционные методы, основанные на

фиксированных математических моделях и жёстких алгоритмах регулирования, оказываются недостаточно гибкими при вариациях параметров канала, что приводит к снижению качества связи и увеличению вероятности ошибок. Для преодоления этих ограничений используют интеграцию адаптивных механизмов обучения с методами нечеткого управления, что позволяет добиться более интеллектуального и самонастраивающегося управления.

Основой таких гибридных подходов является применение адаптивных нейро-нечетких систем вывода, например, *ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)*, которые совмещают преимущества нейронных сетей и нечеткой логики Сугено. Архитектура *ANFIS* включает пять слоев, начиная с фаззификации входных данных, что позволяет не только формализовать знания в виде лингвистических правил, но и осуществлять их обучение и оптимизацию на основе примеров и реального поведения управляемой системы [6]. Благодаря этому достигается универсальность аппроксимации нелинейных процессов, характерных для динамики беспроводных каналов.

Важным компонентом адаптивной нейро-нечеткой системы является идентификатор, работающий в режиме реального времени, который с помощью алгоритмов структурной и параметрической идентификации отслеживает изменения параметров объекта и внешних условий. В итоге система способна адаптивно корректировать свои управляющие законы, подстраиваясь под текущие характеристики канала и минимизируя ошибки регулирования [6]. Это интерактивное обучение основано на методах адаптивной идентификации и теории интерактивной адаптации, которые интегрированы с нечеткой логикой для повышения общей устойчивости и быстродействия.

Структура такой системы традиционно состоит из трёх частей: управляемого объекта, эмулятора регулятора и компенсатора, которые взаимодействуют для поддержания оптимального состояния системы. Ключевым элементом является компенсатор, реализованный в форме нечеткой модели Сугено, обучаемой с помощью интерактивной адаптации. Эта архитектура позволяет гибко комбинировать экспертные лингвистические правила с автоматическим обучением весов и параметров, что значительно расширяет возможности классических нечётких регуляторов [1,3].

Особенностью гибридных нейро-нечетких систем является их способность к многократному обновлению параметров в процессе эксплуатации, что позволяет эффективно реагировать на быстрые и непредсказуемые изменения в условиях беспроводной среды. При этом использование многоуровневой

архитектуры, где первый уровень отвечает за преобразование входных чисел в функции принадлежности, обеспечивает качественную аппаратную фаззификацию и предобработку сигналов, что является критичным для точности последующего регулирования.

Дополнительные методы оптимизации параметров, основанные на генетических алгоритмах или других эволюционных методах, интегрируются с адаптивной нейро-нечеткой системой для улучшения производительности и снижения вычислительной нагрузки. Это особенно важно при работе с большими объёмами данных и необходимостью обеспечить оперативное управление в режиме реального времени.

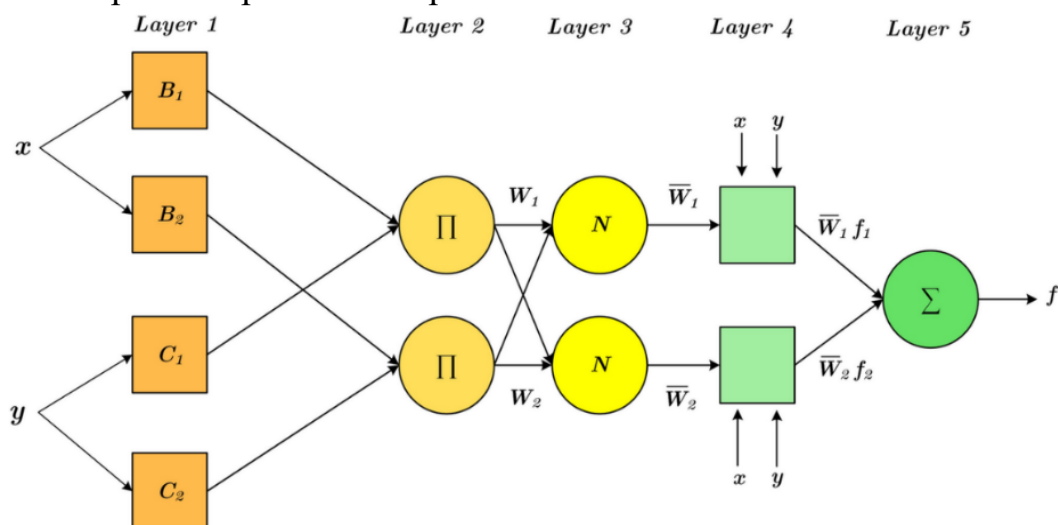


Рисунок 2 – Схема адаптивного нечёткого регулятора для управления динамикой беспроводных сетей

Таким образом, применение адаптивных нейро-нечетких механизмов значительно расширяет возможности классического нечеткого управления, превращая его в интеллектуальную систему, способную самообучаться и адаптироваться. Такая интеграция технологий позволяет добиться более надёжного и качественного регулирования параметров беспроводных каналов, учитывая их нелинейную и неопределённую природу. Следующий этап исследования будет посвящён практической реализации этих моделей в конкретных системах управления, что требует детального рассмотрения алгоритмов, архитектур и инструментов внедрения.

В заключении хотелось сказать, что синтез нечетких регуляторов играют важную роль в радиосистемах, обеспечивая стабильность, точность и качество передачи данных. Их применение охватывает широкий спектр задач, от управления мощностью сигнала до синхронизации фаз. Несмотря на

существующие недостатки, продолжается разработка новых технологий, которые делают эти регуляторы еще более эффективными и универсальными. Перспективы их дальнейшего развития, включая использование цифровых технологий и искусственного интеллекта, обещают значительные улучшения в области систем автоматического управления.

Список литературы

1. Демидова, Г. Л. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами [Электронный ресурс] / Г. Л. Демидова, Д. В. Лукичев. Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2231.pdf> (дата обращения: 05.02.2026).

2. Mathematical model of a communication channel with an unmanned aerial vehicle [Электронный ресурс]. Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/356359441_mathematical_model_of_a_communication_channel_with_an_unmanned_aerial_vehicle (дата обращения: 05.02.2026).

3. Математические модели каналов электросвязи [Электронный ресурс]. Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/840654/page:24/>, (дата обращения: 05.02.2026). Свободный доступ.

4. Простой регулятор на базе нечёткой логики [Электронный ресурс] // Хабр. Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/413539/> (дата обращения: 05.02.2026).

5. Министерство образования и науки Российской Федерации [Электронный ресурс]. Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: <https://repo.ssau.ru/bitstream/metodicheskie-materialy/sintez-nechetkogo-regulyatora-pri-pomoshi-paketa-prikladnyh-programm-sistemy-matlab-elektronnyi-resurs-metod-posobie-71517/1/> (дата обращения: 05.02.2026).

6. Кузнецов, А. В. Синтез нечеткого регулятора при помощи пакета прикладных программ системы Matlab [Электронный ресурс] : метод. пособие / А. В. Кузнецов, Г. М. Макарьянц Электрон. дан. [Б. м.], [б. г.]. Режим доступа: <https://repo.ssau.ru/handle/Methodicheskie-materialy/Sintez-nechetkogo-regulyatora-pri-pomoshi-paketa-prikladnyh-programm-sistemy-Matlab-Elektronnyi-resurs-metod-posobie-71517> (дата обращения: 05.02.2026).

С. А. Меньшиков, А. А. Ковалев

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГОЛОЛЕДОБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ

В статье исследуется проблема гололедообразования на проводах контактной подвески и его влияние на надежность эксплуатации электрифицированных железных дорог. Проведен сравнительный обзор существующих методов обнаружения гололеда. Выявлены ограничения данных методов, касающиеся своевременности обнаружения.

Ключевые слова: Контактная сеть, гололедообразования, мониторинг, предиктивное обслуживание, жизненный цикл, железнодорожный транспорт. надежность

С ростом интенсивности движения и массы поездов, а также тенденции к сокращению межпоездного интервала, нагрузка на отдельные системы железной дороги увеличивается. Одна из таких систем контактная сеть – важнейший компонент электрифицированной части железной дороги, ее протяженность и значимость велика [1].

В осенне-зимний период на участках контактной сети происходит образование гололеда на элементах контактной подвески. Гололед – серьезная проблема, который приводит к ухудшению качества токосъема. Уменьшаются такие характеристики проводов, как долговечность и прочность. [2] Все эти характеристики влияют на жизненный цикл системы токосъема. Поэтому развитие систем мониторинга по обнаружению гололедообразований на проводах в настоящее время остается актуальным. [3]

На рисунке 1 представлен количественный анализ отказов контактной сети рассматриваемого участка в динамике с 2020 до 2024 гг.

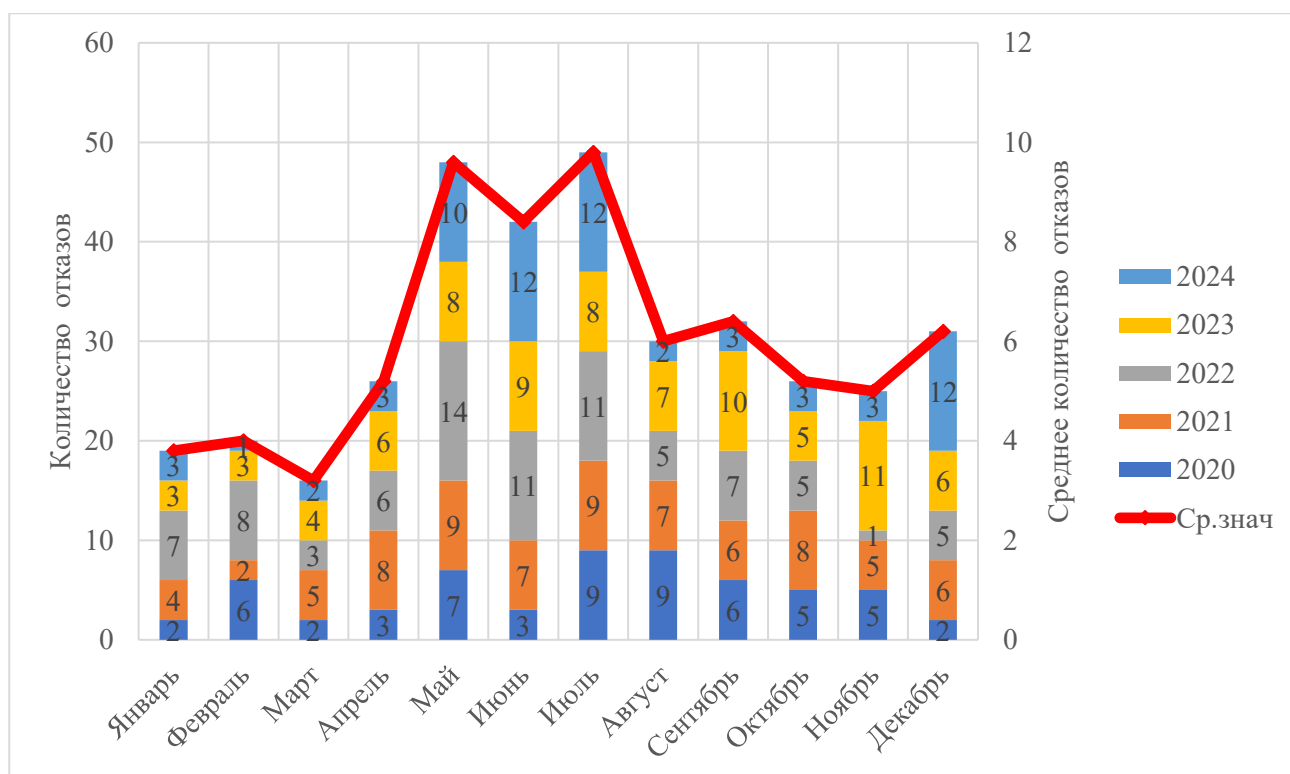


Рисунок 1 – Анализ отказов за пятилетний период с 2020 по 2024

Из графика следует, что в осенне-зимний период произошло около 40 % отказов от общего количество. Это подтверждает, что рассматриваемый период года является уязвимым для контактной сети.

Колебания интенсивности отказов по месяцам связана с изменением погодных условий. В период с октября по ноябрь отказы можно описать как резкие перепады температуры, но 2024 году пик интенсивности сместился на декабрь, что обусловлено поздним наступлением резких температурных колебаний в данном климатическом районе. Январь характеризуется как более стабильный месяц в зимний период, из-за устойчивых отрицательных температур. В феврале основным фактором риска становится ветровое воздействие: увеличение габарита проводов за счет стенки гололедообразований повышает парусность проводов, создавая критические изгибающие моменты на опоры даже при малой толщине отложений.

Отказы, связанные с гололедообразованием, составляют 20 % от общего количества в зимний период и приведены в виде гистограммы на рисунке 2

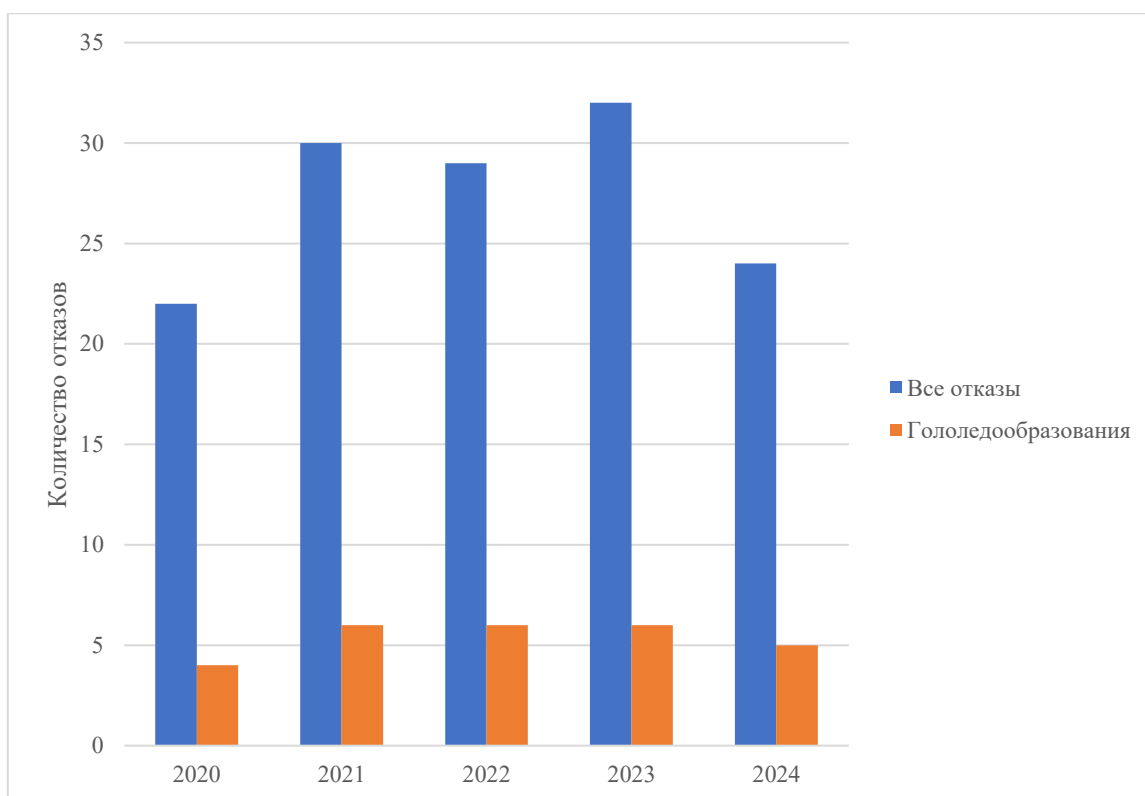


Рисунок 2 – Статистика зимних отказов и влияние гололедообразований

На основании диаграммы, представленной на рисунке 2 можно отметить, что гололедообразования влияют на работу контактной подвески в осенне-зимний период. Эксплуатация железнодорожной инфраструктуры во время суровых условий является критичной.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости мониторинга технического состояния контактной сети. На железной дороге в настоящее время известны следующие методы обнаружения гололедообразований:

Визуальный осмотр, осуществляемый персоналом дистанции электроснабжения, машинистами электровозов и сотрудниками лаборатории, предполагает, что при выявлении гололедных отложений на проводах сотрудник должен немедленно информировать район контактной сети или энергодиспетчера. После дистанция должна решить, как ей действовать, отправить бригаду для ручного удаления гололеда с проводов, или воспользоваться электрическими методами. К электрическим методам относятся плавка и профилактический подогрев. Подогрев как метод борьбы имеет недостаток в виде того, что он эффективен только при раннем обнаружении гололедообразований, в остальных случаях необходимо использовать плавку гололеда, которая ведет к прекращению движения на данном участке, что ведет

к изменению графика движения поездов. Кроме того, появлялся риск в том, что искусственно вызванное короткое замыкание может перейти в неконтролируемый процесс, приводящий к неожиданной аварийной ситуации, которая несет негативные последствия для безопасного движения поездов и персонала.

Устройство обнаружения гололеда УОГ-2005. Принцип работы данного прибора, изображенного на рисунке 3, основан в распознавании радиосигнала определенной частоты. При прохождении поезда по участку контактной сети с гололедными отложениями на проводах, нарушается токосъем. [4] Нарушение состоит в отсутствии постоянного взаимодействия системы «токоприемник – контактный провод». Вместо этого ползок взаимодействует с проводом через гололедную прослойку, которая плавится и образует дуговые нарушения токосъема. Этот процесс создает радиосигнал, который фиксирует данное оборудование и отправляет всю необходимую информацию на энергодиспетчерский пункт. Данный метод более эффективный во время прохождения поезда по отношению к визуальным осмотрам, но в отсутствии проходящего электроподвижного состава основной функционал теряется.



Рисунок 3 – Устройство раннего обнаружения изморозевых и гололедных образований УОГ-2005

На основании вышеуказанных рассмотренных методов можно сделать следующий вывод: что все они не обеспечивают надежную эффективность раннего обнаружения гололедообразований.

Следующий метод диагностики контактной сети относится к процессам совершенствования систем мониторинга. Данный метод основан на применениях ряда датчиков, установленных на элементах контактной подвески. Автоматизированная информационная система контроля гололедных нагрузок (далее «АИСКГН») компании АБАК-2000 включает такие компоненты как: системы питания, связи и управления, датчики, температуры окружающей среды и провода, влажности воздуха, скорости и направления ветра, а также датчики гололедной нагрузки.

Принцип работы построен на том, что вся структура располагается на опоре кроме датчиков температуры провода и гололедных нагрузок, они устанавливаются на сами провода и в компенсирующую систему. Система в режиме реального времени отслеживает важные параметры: толщину льда, температуру провода, скорость ветра и влажность. Данные передаются, каждую минуту обеспечивая сотрудников актуальной информации о состоянии подвески. «АИСКГН» имеет встроенную функцию прогнозирования гололедообразований на 6-24 часа вперед, что позволяет заблаговременно запустить процесс борьбы, а благодаря встроенным алгоритмам самообучения повышается точность прогноза. Система проходит испытания на полигоне «Максим Горький» контактной сети ОАО «РЖД». [5]

На основании такой системы существуют и аналоги только используемых в линиях электропечи. Системы мониторинга «МИГ» и «Волга». Система мониторинга интенсивности гололедообразований также фиксирует и прогнозирует моменты начала гололедообразования на проводах, но также позволяют контролировать метод плавки гололеда с проводов, что повышает эффективность и надежность такого метода борьбы. Так же опыт работы системы может помочь развитию мониторинга гололедных отложений на контактной сети. [6] За системой «Волга» перспективное развитие. Система будет работать с помощью искусственного интеллекта, который на основании метеорологических прогнозах и прямых измерений тяжения проводов оценивает риски, а затем предлагает сценарий проведения мероприятий. Целей создаваемой системы - разработка алгоритмов оценки масса льда, где нет

станций, что позволит минимизировать затраты на оборудования и позволит использовать систему, без монтажа определенного оборудования на проводах, повысив тем самым эффективность систем мониторинга. [7]

Ещё один способ совершенствования систем мониторинга – использование беспилотных летательных аппаратов «БПЛА», практика, используемая в линиях электропередач. Летательный аппарат с прикрепленным оборудованием, которое выполняет диагностику состояния, совершает полет на безопасном расстоянии. Оборудование может быть как обычная фотокамера, так и с тепловизором, а также приспособлением для удаления гололеда. Машиной управляет оператор через навигационные системы.[8]

В качестве направления совершенствования системы предлагается управлять жизненным циклом контактной подвески. Для это, сотрудники научно-исследовательской лаборатории «САПР КС» УрГУПС производят разработку алгоритмов и математических моделей, которые будут учитывать техническое состояние элементов контактной сети. Специалисты считают, что недостаточно отслеживать гололедообразования, требуется иметь достоверную информацию о текущем состоянии проводов, определять, выдержат ли они приложенную нагрузку, которая воздействует на текущее состояние элементов контактной сети или же линий электропередач.

Управление на уровне жизненного цикла позволит адаптировать алгоритмы обслуживания проводов под состояние системы с учетом остаточного ресурса, которые приведут к надежному предиктивному методу. Это позволит более оценить риски износа и оптимизировать затраты на ремонт, что в совокупности повысит безопасность эксплуатации контактной сети.

Список литературы

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 11.02.2008 № 269р «Об энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года». – Москва : ОАО «РЖД», 2008. – 15 с. – Текст : непосредственный.

2. Калиниченко, А. Я. Предотвращение гололедообразования при токосъеме / А. Я. Калиниченко, А. А. Ковалев, А. А. Кардаполов // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12, № 3(52). – С. 176-183. – EDN SGSFUR.

3. Разработка вероятностной модели прогнозирования продолжительности гололедоопасного периода в границах дистанции электроснабжения / А. Н. Смердин, А. В. Тарасенко, И. Е. Чертков, А. С. Голубков // Транспорт Урала. – 2024. – № 4(83). – С. 106-112. – DOI 10.20291/1815-9400-2024-4-106-112. – EDN CCUTIX.

4. Устройство раннего обнаружения гололедных отложений на проводах контактной сети [Электронный ресурс] // Ростовский государственный университет путей сообщения : официальный сайт. – URL: <https://rgups.ru/science/razrabotki-143/ustroistvo-rannego-obnaruzheniia-601/> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.

5. Автоматизированная система контроля гололедных нагрузок (АИСКГН) [Электронный ресурс] // АБАК-2000 : официальный сайт компании. – URL: <https://abak2000.ru/products/aiskgn/> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.

6. Средства диагностики и предотвращения снегонапления и гололедообразования на воздушных линиях 6–150 кВ : корпоративный каталог участников презентационного дня / ПАО «МРСК Северо-Запада». – Санкт-Петербург : ПАО «МРСК Северо-Запада», 2017. – 50 с. – Текст : непосредственный.

7. Система мониторинга гололедообразования «Волга» [Электронный ресурс] // ВКонтакте : социальная сеть. – URL: https://vk.com/wall715235036_625 (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.

8. Способ удаления гололедно-изморозевых отложений с проводов воздушной линии электропередачи и беспилотный летательный аппарат для его осуществления : пат. 2848816 Рос. Федерация : МПК H02G 7/16 / [Г. В. Шимов, С. А. Семячкин, С. В. Лыткин] ; заявитель и патентообладатель [ООО "Лаборатория будущего"]. – № 2024100000 ; заявл. 21.10.2025 ; опубл. 21.10.2025. – Текст : непосредственный.

Д. М. Гудиев, А. Р. Исламов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОГРАММЕТРИИ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

В статье рассматриваются современные методы инженерно-геодезических изысканий железнодорожной инфраструктуры на основе фотограмметрии и компьютерного зрения. Проанализировано применение БПЛА и метода Structure from Motion для построения цифровых моделей местности. Особое внимание уделено вопросам точности, источникам погрешностей и их минимизации. Обоснована эффективность интеграции фотограмметрии, лазерного сканирования и BIM/ТИМ-технологий.

Ключевые слова: фотограмметрия, компьютерное зрение, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), Structure from Motion (SfM), цифровая модель местности, железнодорожная инфраструктура, информационное моделирование (BIM/ТИМ).

В России развиты все возможные виды транспортных систем, способствующие развитию торговли и логистики, стимуляции экономического роста ВВП и укреплению страны. Одним из основных и постоянно развивающихся является железнодорожный вид транспорта. Для надежного проектирования линейных объектов и обеспечения их безопасности и бесперебойной эксплуатации, необходимо проведение качественных и точных геодезических изысканий.

Традиционные методы изысканий, основанные на использовании GNSS приемников, электронных тахеометров и нивелиров, дают возможность получить высокую точность в измерениях, но обладают существенным недостатком – высокой трудоемкостью и предоставлением информации лишь по отдельным точкам, а не по сплошной цифровой модели местности [1].

В нынешних современных тенденция развития на первый план выходят цифровые технологии масштабного сканирования, способные улучшить мониторинг и проектирования железнодорожных путей. К таким технологиям относятся фотограмметрия и компьютерное зрение, комплексное использование которых создает мощный аналитический инструмент [2].

Фотограмметрия основывается на формировании размерных

характеристик – высот, расстояний, объемов, точек в местной системе координат на основе серии перекрывающихся снимков – стереопар.

Снимки объекта, полученные с двух параллельно расположенных камер, называется стереопарой, схема которой отображена на рис.1. Благодаря наложению полученных снимков, сделанных немного под разными углами, формируется объемное изображение объекта.

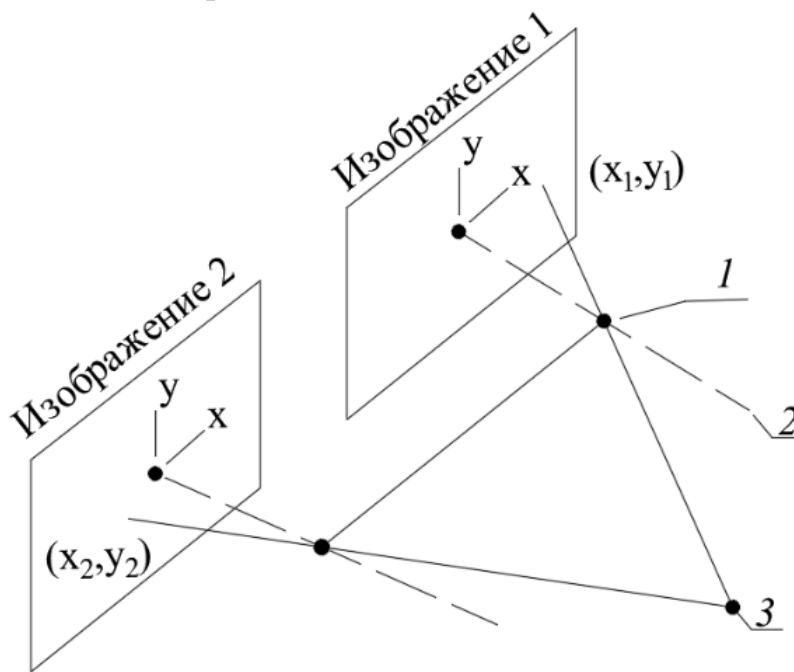


Рисунок 1 – Схема получения стереопар:

1 – центры линз объективов; 2 – оптическая ось; 3 – точка пространства

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта, которая учит машины «видеть» и понимать содержание изображений и видео. Его задачи – не столько измерение, сколько распознавание, классификация и семантическая сегментация объектов. Алгоритмы компьютерного зрения могут автоматически находить на снимках рельсы, шпалы, опоры контактной сети, сигнальные знаки.

В итоге получается система, в которой фотограмметрия отвечает на вопрос «Где и какая геометрия», а компьютерное зрение – «Что это за объект и в каком он состоянии?».

Получение данных осуществляется на основе использование беспилотных летательных аппаратов, которые обеспечивают высотную детализацию и формируют облако данных с наземной геопривязкой (опорные точки, GPS/ГЛОНАСС).

Непосредственно важной частью является алгоритм обработки и построения самой модели, после получения данных, ведь именно на данном

этапе определяется точность. Для обработки используют такие специализированные программные обеспечения - Agisoft Metashape, Pix4D, ContextCapture и другие. Каждый алгоритм корпоративно конфиденциален и дает свое качество, на основе разного метода выравнивания снимков и алгоритмов компьютерного зрения, построения облака точек, создания ортофотоплана и определения точности путем вычисления общего математического ожидания выбранных данных [3].

В этом контексте актуальность настоящего исследования обусловлена объективной необходимостью внедрения высокопроизводительных, автоматизированных и высокоточных алгоритмов, способных обеспечить создание информационно-насыщенных и метрически достоверных цифровых моделей местности и объектов. Такие модели являются безусловной основой для сквозного информационного моделирования (Technology Information Modeling, ТИМ или BIM) на всех этапах жизненного цикла объекта – от проектирования и строительства до эксплуатации и мониторинга железных дорог [4].

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать современные методы автоматизированного сбора геопространственных данных с использованием БПЛА и алгоритмы 3D-реконструкции на их основе.
2. Исследовать спектр алгоритмов компьютерного зрения, применяемых для повышения точности, семантического обогащения и автоматической интерпретации фотограмметрических данных.
3. Провести критический анализ основных источников погрешностей и факторов, ограничивающих точность фотограмметрических моделей, и обобщить методы их минимизации.
4. Рассмотреть интеграционные подходы, сочетающие фотограмметрию с другими методами дистанционного зондирования (лидарное сканирование), и оценить их эффективность.
5. Обобщить практический опыт и наметить тенденции внедрения данных технологий в контексте цифровизации отрасли.

Ключевым алгоритмическим прорывом, превратившим набор 2D-изображений в 3D-модель, стал метод Structure from Motion (SfM). Его суть заключается в автоматическом определении параметров съемки (положения и ориентации камер) и построении разреженного облака точек на основе поиска и сопоставления ключевых точек на перекрывающихся снимках. Этот метод стал основой современной цифровой фотограмметрии, автоматизируя процессы,

которые ранее требовали ручного труда [3].

Современные исследования направлены на совершенствование SfM-пайплайнов. Например, важным направлением является оптимизация этапа поиска соответствий. Комбинирование классического SfM-подхода с современными алгоритмами локальных признаков, такими как ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF), позволяет существенно повысить скорость сопоставления снимков без значительной потери надежности, что критично при обработке больших массивов данных, характерных для линейных объектов [5].

Несмотря на высокую степень автоматизации SfM, качество исходных данных остается определяющим фактором. Алгоритм не может компенсировать грубые методические ошибки, допущенные на этапе съемки. Исследование Шестопалова Р.П. и др. экспериментально подтверждает, что сопровождение оператора, обеспечивающее соблюдение оптимальных параметров съемки (величины продольного и поперечного перекрытий, углов наклона камеры), напрямую и существенно влияет на успех и точность последующей 3D-реконструкции [6]. Таким образом, технологическая цепочка представляет собой неразрывную связь: оптимальная методика полетных работ (БПЛА) -> качественный исходный материал (снимки) -> эффективные вычислительные алгоритмы (SfM и сопутствующие). Нарушение любого звена ведет к деградации конечного результата.

Если классическая фотограмметрия отвечает на вопрос «где?» (определяя координаты), то компьютерное зрение все чаще отвечает на вопрос «что?», добавляя к геометрической модели смысловую нагрузку. Это направление решает две взаимосвязанные задачи: повышение точности данных и их семантический анализ:

Повышение точности и надежности геопривязки. Одной из системных проблем БПЛА-съемки протяженных объектов является кумулятивное накопление ошибок, ведущее к смещениям и деформациям модели на больших расстояниях. Решением являются алгоритмы уточнения географической привязки. Куманькин Д.С. и др. предлагают метод на основе сиамских нейронных сетей, который позволяет с высокой точностью сопоставлять аэрофотоснимки с эталонными спутниковыми изображениями, тем самым корректируя плановое положение модели без необходимости в густой сети наземных опорных точек (GCP) [7]. Это направление крайне перспективно для изысканий железных дорог, часто проходящих по территориям со сложной логистикой.

Автоматическое обнаружение и идентификация объектов. Для автоматизации камеральных работ разрабатываются архитектуры систем, способные идентифицировать ключевые объекты на снимках. Жиленков А.А. и др. рассматривают архитектуры систем для идентификации географических меток [8]. В основе таких систем лежат алгоритмы локального признакового описания, подобные SIFT, SURF или их более быстрым модификациям, которые устойчивы к изменениям масштаба, освещения и ракурса [9]. Это позволяет автоматически находить на снимках опорные точки, элементы инфраструктуры (опоры контактной сети, сигналы, путевые знаки), что является основой для автоматизированного дешифрирования.

Обработка в условиях неидеальных данных. Реальные условия съемки сопряжены с наличием шумов, бликов, изменчивостью освещенности. Исследование Голдобина И.А. и Климовой Е.И. посвящено влиянию различных типов шумов на алгоритмы цифровой обработки изображений и методам их фильтрации [10]. Устойчивость алгоритмов к таким помехам – необходимое условие их промышленного применения.

Хотя алгоритмы обнаружения объектов демонстрируют высокую эффективность в контролируемых условиях, их надежность в полевых условиях, особенно при изменении сезона (снег, отсутствие листвы), времени суток или погоды, требует дальнейшего повышения. Большинство современных решений, включая нейронные сети, требуют для обучения больших размеченных датасетов, специфичных именно для железнодорожной тематики. Нехватка таких открытых, качественно размеченных данных является серьезным препятствием для быстрого развития и тиражирования решений [11].

Следующим закономерным этапом является проникновение методов искусственного интеллекта (ИИ) во все звенья технологической цепочки. Как отмечает Тимаков К.А., ИИ применяется не только для семантической сегментации (что уже стало стандартом), но и для решения собственно фотограмметрических задач: улучшения качества изображений, предсказания и компенсации ошибок, ускорения процессов построения и оптимизации плотных облаков точек, автоматического подбора параметров обработки [11]. Перспективным направлением является создание самообучающихся систем, которые на основе накопленного опыта (датасетов) могут рекомендовать оптимальную схему съемки для конкретной местности или автоматически детектировать шумы и дефекты на полотне и инфраструктуре.

Проведенный обзор позволяет сформулировать следующие

заключительные положения:

1. Сформировался технологический стандарт для высокопроизводительных изысканий линейных объектов, стержнем которого является комплекс «БПЛА – SfM-реконструкция – алгоритмы компьютерного зрения». Этот комплекс доказал свою практическую эффективность для задач исполнительной съемки, объемного расчета и мониторинга железных дорог [2], обеспечивая беспрецедентную детализацию и плотность данных по сравнению с традиционными методами.

2. Главным технологическим вызовом остается гарантированное обеспечение высокой метрической точности на всем протяжении объекта. Погрешности носят системный и многофакторный характер, исходя из ошибок калибровки [12], методики съемки [6] и алгоритмов обработки. Преодоление этого вызова требует не разрозненных мер, а внедрения сквозной системы контроля качества, включающей прецизионную калибровку, RTK/PPK-оснащение БПЛА, алгоритмы коррекции геопривязки [7] и обязательную валидацию результатов независимыми измерениями.

3. Происходит переход от создания чисто геометрических моделей к построению семантически насыщенных информационных систем. Алгоритмы компьютерного зрения эволюционируют от задач поиска соответствий [9, 5] к задачам автоматической идентификации, классификации и даже оценки состояния объектов инфраструктуры [8, 11]. Это является ключом к автоматизации камеральных работ и превращению 3D-модели в интеллектуальную базу геоданных.

4. Наиболее надежные и полные результаты дают интеграционные (гибридные) методы. Будущее за разумным комбинированием данных БПЛА-фотограмметрии и лазерного сканирования (наземного и мобильного) [13, 14]. Такой подход позволяет преодолеть ограничения каждого метода в отдельности и создавать цифровые двойники, адекватно отражающие реальность как на открытых пространствах, так и в сложных, затененных условиях.

5. Внедрение рассмотренных технологий является не самоцелью, а критическим элементом цифровой трансформации отрасли. Их прямым и естественным продолжением является интеграция в процессы информационного моделирования (ТИМ/ВІМ) [15]. Это создает основу для сквозного управления жизненным циклом железнодорожной инфраструктуры – от проектирования цифрового двойника до его материализации в строительстве и последующего эксплуатационного мониторинга на основе периодической съемки.

Таким образом, алгоритмы фотограмметрии и компьютерного зрения представляют собой не просто набор инструментов, а новую технологическую парадигму для инженерно-геодезических изысканий. Их дальнейшее развитие, будет определять технологический уровень железнодорожного строительства и эксплуатации на долгосрочную перспективу.

Список литературы

1. Гудиев, Д. М. Аэрофотосъемка. Способы повышения качества и скорости геодезических изысканий / Д. М. Гудиев, А. Р. Исламов // Железнодорожный транспорт и технологии: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 27–28 ноября 2024 года. – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 202-205.
2. Алтынцев, М. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для исполнительной съемки железных дорог / М. А. Алтынцев, И. В. Щербаков, С. А. Третьяков // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019.
3. Блохинов, Ю. Б. Разработка методов автоматизации фотограмметрических процессов на основе алгоритмов анализа и обработки изображений: специальность 25.00.34 "Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Блохинов Юрий Борисович. – Москва, 2011. – 46 с.
4. Колесников, Л. С. Исследование эффективности применения технологий информационного моделирования (ТИМ) при проведении мероприятий строительного контроля объекта капитального строительства / Л. С. Колесников, И. Н. Дорошин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 6, № 4(157). – С. 10-16.
5. Даминов, И. А. Комбинирование алгоритмов SfM и ORB при 3D-реконструкции / И. А. Даминов, А. Ю. Арсенюк, А. С. Тощев // Электронные библиотеки. – 2023. – Т. 26, № 4. – С. 456-465.
6. Экспериментальная оценка рекомендаций метода по сопровождению оператора во время съемки фотографий для последующей 3D-реконструкции / Р. П. Шестопапов, Д. В. Иванов, М. М. Заславский, А. П. Гребенщиков // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 78-89.
7. Куманькин, Д. С. Метод уточнения географической привязки спутниковых изображений на основе сиамских нейронных сетей /

Д. С. Куманькин, С. А. Ямашкин, С. А. Федосин // Нелинейный мир. – 2025. – Т. 23, № 1. – С. 11-19.

8. Жиленков, А. А. Архитектура систем идентификации географических меток по данным аэрофотосъемки / А. А. Жиленков, М. В. Чупаков, М. А. Бандеров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 5. – С. 218-222.

9. Модель и алгоритмы обнаружения объектов на изображении с использованием локального признакового описания / В. Е. Гай, Н. А. Домнина, Р. О. Баринов [и др.] // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 1(29). – С. 33-43.

10. Голдобин, И. А. Влияние шумов на алгоритмы цифровой обработки изображений / И. А. Голдобин, Е. И. Климова // Актуальные вопросы развития современной цифровой среды : сборник статей по материалам научно-технической конференции молодых ученых, Москва, 14–16 апреля 2021 года. – Волгоград: ИП ЧЕРНЯЕВА ЮЛИЯ ИГОРЕВНА (Издательский дом "Сириус"), 2021. – С. 396-402.

11. Тимаков, К. А. Применение методов ИИ в решении задач фотограмметрии / К. А. Тимаков // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2025. – № 1-1. – С. 138-145.

12. Тутанова, М. С. Влияние ошибок самокалибровки камер на результат топографических съемок с помощью БПЛА / М. С. Тутанова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 122-125.

13. Рощин, Д. А. Повышение точности формирования трехмерной модели местности / Д. А. Рощин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 46-52.

14. Щенявская, Л. А. Технология объединения пространственных данных, полученных по результатам наземного лазерного сканирования, цифровой аэрофотосъемки и ручного лазерного сканирования / Л. А. Щенявская, А. А. Шалая // Молодежная наука. Сборник лучших научных работ молодых ученых : Материалы LI студенческой научной конференции, Краснодар, 29 февраля – 21 марта 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2024. – С. 509-515.

15. Колесников, Л. С. Исследование эффективности применения технологий информационного моделирования (ТИМ) при проведении мероприятий строительного контроля объекта капитального строительства / Л. С. Колесников, И. Н. Дорошин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 6, № 4(157). – С. 10-16.

Н. С. Голочалов, Б. В. Рожкин, И. В. Швырёв

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПАКЕТА ПОЕЗДОВ

В работе представлена имитационная модель скоординированного движения пакета поездов в условиях применения технологии виртуальной сцепки. Модель основана на уравнении продольного движения поезда с учетом тяговых, тормозных и сил сопротивления движению, статических и динамических ограничений скорости, а также алгоритмов прогнозирования и прицельного торможения. Реализован модуль продольной динамики состава, учитывающий состояние сжатия и растяжения поезда, а также влияние профиля пути на выбор режима управления. Разработка выполнена на языке Python и ориентирована на дальнейшее применение методов обучения с подкреплением для повышения энергоэффективности, безопасности и пропускной способности железнодорожных линий.

Ключевые слова: имитационная модель, виртуальная сцепка, обучение с подкреплением, интервальное регулирование

Тенденции развития железнодорожного транспорта связаны с интеллектуализацией всех этапов процесса перевозки. Рост интенсивности перевозок, изменение направлений грузопотоков, усложнение графиков движения и повышение требований к безопасности приводят к необходимости перехода от традиционных методов регулирования к автоматизированным и адаптивным системам, основанным на современных алгоритмах управления и обмене данными в реальном времени.

Особое значение приобретают технологии автоматизации управления движением, позволяющие существенно повысить пропускную и провозную способность железнодорожных линий без строительства новой инфраструктуры.

Развитие систем автоматического ведения поездов в России имеет богатую историю - от первых локальных решений в метрополитенах до современных микропроцессорных комплексов, интегрированных с диспетчерскими и энергетическими системами. Сегодня отечественные научные школы (РУТ (МИИТ), НИИАС, УрГУПС и др.) активно исследуют вопросы построения

алгоритмов управления, минимизации энергопотребления, обеспечения безопасных интервалов движения и взаимодействия поездов в пакете [1, 2]

Большое внимание уделяется технологии виртуальной сцепки, которая открывает возможности для формирования пакетов поездов и адаптивного управления на основе данных о скорости, ускорении и динамических характеристиках поездов [3]. Количество поездок с применением данной технологии растет огромными темпами, руководство ОАО «РЖД» ставит задачи по совершенствованию алгоритмов виртуальной сцепки, с целью ведения пакетов из большего числа поездов, а также пакетов смешанного типа поездов (рисунок 1).

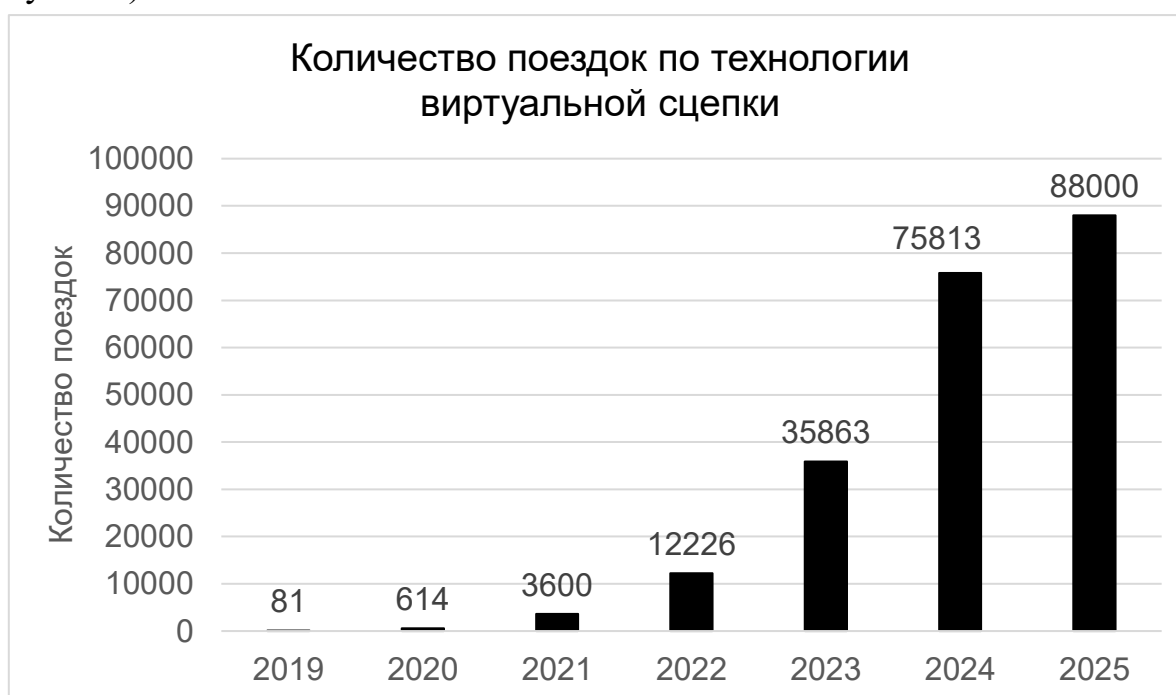


Рисунок 1 – Рост числа поездок по технологии виртуальной сцепки
(на основе опубликованных данных)

С увеличением числа поездов в пакете возрастает сложность аналитического расчета их движения, поэтому актуальные исследования, в том числе и зарубежные, говорят о необходимости применения современных подходов - имитационного моделирования с применением машинного обучения и искусственного интеллекта [4-6].

Современные методы энергооптимального управления охватывают широкий спектр – от классических аналитических до эволюционных и основанных на применении искусственного интеллекта. Наиболее

перспективным считается комбинирование математических моделей с фактическими данными, получаемыми в режиме реального времени [5, 6].

Поэтому, целью данного исследования является разработка основы имитационной модели скоординированного движения пакета поездов, позволяющей применять современные методы оптимизации, моделирования, а также ИИ (обучение с подкреплением) для повышения энергоэффективности, безопасности и пропускной способности железнодорожной сети [9, 10].

Разработка имитационной модели осуществляется на языке программирования Python для грузовых локомотивов 2ЭС6 с возможностью дальнейшего расширения на другие серии.

Основное уравнение движения поезда

В основе модели лежит одномерное уравнение продольного движения поезда вдоль оси пути. Поезд рассматривается как материальная точка (в базовой тяговой модели) с учетом действующих продольных сил.

Основное уравнение движения поезда имеет вид:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{tr}(u, v) - B(u, v) - W_0(v) - W_i(s) \quad (1)$$

где m – масса поезда, т,

v – скорость движения, км/ч,

F_{tr} – сила тяги, Н,

B – тормозная сила, Н,

W_0 – основное сопротивление движению, Н,

W_i – дополнительное сопротивление движению, Н,

s – текущая ордината (пройденный путь), км,

u – управляющие воздействия тяги и торможения.

Сопротивление от уклона определяется как:

$$W_i = mgi(s) \quad (2)$$

где, $i(s)$ – уклон пути, приведенный к длине поезда (вычисляется скользящим средним).

Основное сопротивление, тормозные силы, тяговые, токовые и рекуперативные характеристики для диапазона скоростей рассчитаны по выражениям из Правил тяговых расчетов [11] заранее с целью увеличения быстродействия расчетов имитационной модели.

Основное уравнение интегрируется по пути с вычислением ускорения:

$$a = \frac{F_{tr} - B - W_0 - W_i}{m(1+\delta)}, \quad (3)$$

и переходом к следующему шагу:

$$\begin{aligned}v_{k+1} &= v_k + a_k \Delta t, \\s_{k+1} &= s_k + v_k \Delta t + \frac{1}{2} a_k \Delta t^2,\end{aligned}\tag{4}$$

где, $m(1 + \delta)$ – масса поезда с учетом коэффициента вращающихся масс (задается отдельно для вагонов, отдельно для локомотива).

В модели расчет ведется по дискретной равномерной сетке ординат, а время шага определяется из кинематических соотношений.

Управляющие воздействия и режимы движения

Управление движением осуществляется через режимы:

$$u \in \{traction, coast, brake, regen\}\tag{5}$$

где *traction* – тяга (для каждой скорости возможно выбрать несколько вариантов силы тяги),

coast – выбег,

brake – пневматическое торможение (1, 2, 3 ступени, полное служебное, экстренное)

regen – рекуперативное торможение (от 1 до 100% силы рекуперации).

Управление строится таким образом, чтобы фактическая скорость не превышала допустимую:

$$v(t) \leq v_{ogr}(s, t)\tag{6}$$

В модели учитываются:

статические ограничения скорости v_{ogr1} – задаются по координате пути;

динамические ограничения v_{ogr2} – зависят от положения других поездов на участке (ограничения от автоблокировки) и алгоритмов управления в группе.

Итоговое ограничение скорости определяется как минимум из статических и динамических ограничений с учетом положения головы и хвоста поезда:

$$v_{ogr} = \min(v_{ogr1}, v_{ogr2})\tag{7}$$

Для обеспечения соблюдения ограничения (и выполнения прицельного снижения скорости) используется программная скорость v_p – результат обратного расчета тормозного пути.

Обратный расчет реализуется итеративно:

$$v_p^{(k+1)} = \min\left(v_{ogr}, calc_torm_step\left(v_p^{(k)}\right)\right)\tag{8}$$

где, *calc_torm_step* – функция вычисления скорости в начале шага торможения,

при заданной конечной скорости торможения.

Таким образом формируется поле допустимых скоростей, для решения задачи прицельной остановки или снижения скорости к ограничению с учетом замедляющих сил.

Алгоритм прогнозов движения

Для того, чтобы определить управляющее воздействие в сформированном поле допустимых скоростей используется система прогнозов:

Прогноз на время подготовки тормозов – на каждом шаге расчета выполняется построение кривой скорости в режиме выбега на время подготовки тормозов к действию. Проверяется не превышает ли поезд программную скорость: если пересекает, то уже на этом шаге расчета надо запускать процесс торможения, если не пересекает, завершаем шаг расчета тягой.

Прогноз в начале режима торможения – проверка что будет если сразу после входа в торможение отпустить тормоза (возможно пока мы готовились к торможению поездная обстановка поменялась, и программная скорость уже выглядит иначе, чем на момент принятия решения о торможении). Фактически прогнозируется поведение поезда в выбеге на время зарядки тормозов, и, если поезд не пересекает программную скорость, разрешается отпуск тормозов. Далее делается еще один прогноз, на основе которого принимается решение о включении тяги или продолжении выбега: если после отпуска тормозов, в режиме выбега поезд продолжает ускорение, значит тягу можно не включать.

Помимо этого, на каждом шаге расчета определяется тормозной путь интегрирование по участкам пути для оценки расстояния до точки полной остановки.

Продольная динамика и влияние профиля

Помимо модели материальной точки, реализован модуль продольного состояния состава LongState3.

Вводится непрерывный параметр:

$$\gamma \in [-1,1] \quad (9)$$

где $\gamma > 0$ – тенденция к растяжению,

$\gamma < 0$ – тенденция к сжатию.

Целевая величина определяется через относительное ускорение:

$$\gamma_{target} = \text{clip}\left(\frac{a_{rel}}{a_{ref}}, -1, 1\right) \quad (10)$$

где a_{rel} – ускорение от равнодействующей силы, скорректированное с учетом

разницы ускорений головы и хвоста поезда,

a_{ref} – нормирующее ускорение (среднее ускорение поезда на участке),

$clip$ – функция приведения расчетной величины к диапазону от -1 до 1.

Динамика γ описывается фильтром первого порядка:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{1}{\tau} (\gamma_{target} - \gamma) \quad (11)$$

В дискретной форме:

$$\begin{aligned} \gamma_{k+1} &= \gamma_k + \alpha (\gamma_{target} - \gamma_k), \\ \alpha &= 1 - e^{-\Delta t / \tau} \end{aligned} \quad (12)$$

где α – коэффициент дискретного фильтра первого порядка (определяет долю приближения к γ_{target}),

Δt – шаг вычислений по времени (продольная динамика моделируется по интервалам времени),

τ – постоянная времени фильтра (определяет инерционность продольного состояния).

Дополнительно ограничивается скорость изменения γ :

$$|\Delta\gamma| \leq d\gamma_{max}\Delta t \quad (13)$$

Состояние состава определяется с гистерезисом:

если $\gamma > thr_on \rightarrow stretched$ (состав растянут),

если $\gamma < -thr_on \rightarrow compressed$ (состав сжат),

в промежутке действует порог thr_off .

Для анализа профиля рассчитываются скользящие уклоны под головой, серединой и хвостом. На основе комбинаций уклонов и состояния γ применяются профильные правила (сформированные на основе Правил эксплуатации тормозного оборудования [12]):

P1 – переход с площадки на спуск – ограничить тягу или перейти в выбег,

P2 – переход со спуска площадку - ограничить тягу или перейти в выбег,

P3 – впадина (голова на подъеме, хвост на спуске) - ограничить тягу или перейти в выбег,

P4 – перевал (голова на спуске, хвост на подъеме) – отключить тягу после того, как 1/3 состава окажется на спуске,

START – режим трогания (обеспечить плавное нарастание силы тяги)

Эти правила позволяют:

принудительно переводить режим в выбег,

ограничивать процент используемой тяги,
смягчать торможение при сжатом составе.

Таким образом итоговый режим определяется как функция:

$$mode_{k+1} = \Phi(mode_{base}, \gamma, slo_{head}, slo_{tail}, flags) \quad (14)$$

Итоговая структура модели объединяет:

Базовое уравнение движения (материальная точка).

Дискретное управление режимами тяга–выбег–торможение.

Систему ограничений скорости (статические, динамические, программная скорость).

Прогнозные алгоритмы (тормозной путь, выбег, время подготовки тормозов).

Модуль расчета продольного состояния состава с правилами, ограничивающими управление по предотвращению разрывов автосцепки.

Полученная модель обеспечивает имитацию движения группы поездов с учетом ограничений скорости, взаимодействия по дистанции и влияния продольной динамики на алгоритм управления. Результаты примерного расчета имитационной модели представлены на рисунках 2 и 3.

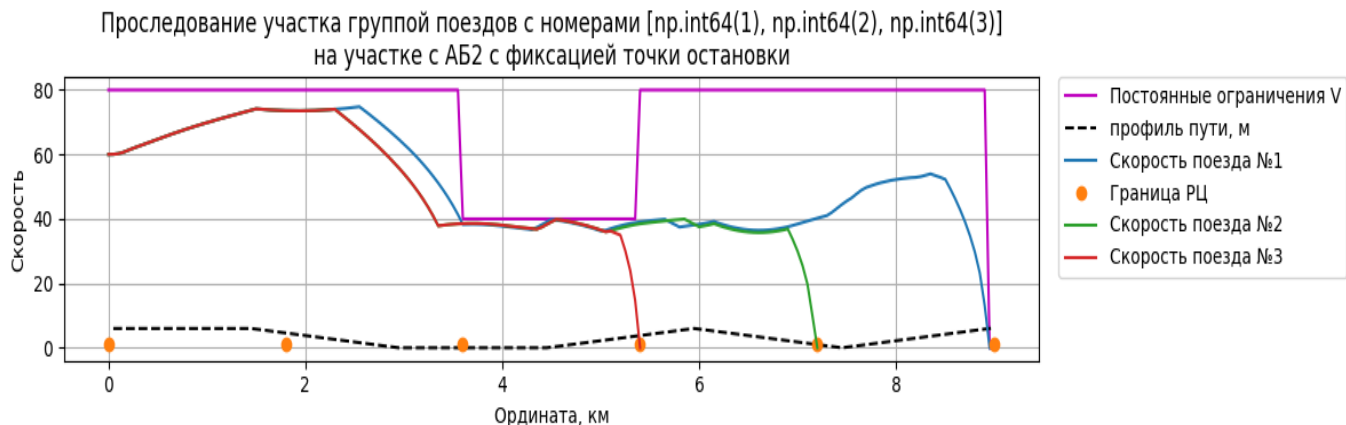


Рисунок 2 – Пример расчета движения пакета из трех поездов по участку с трехзначной автоблокировкой и двухблочным разграничением

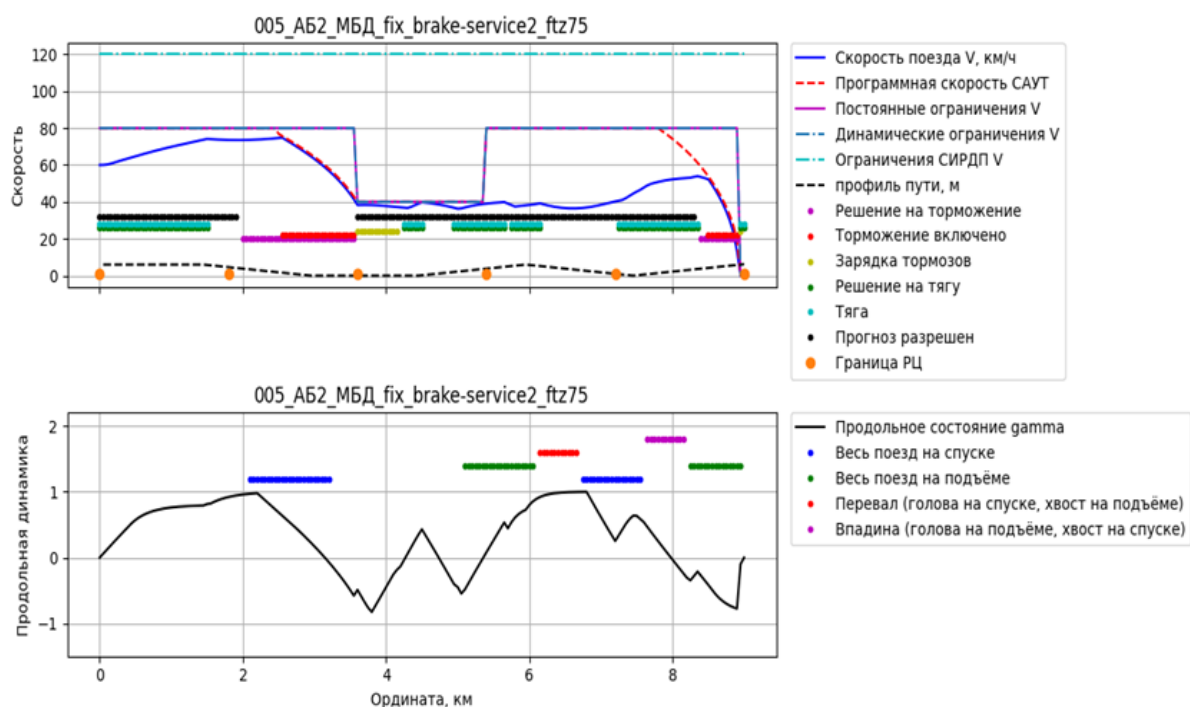


Рисунок 3 – Визуализация движения одного поезда с учетом продольной динамики

В будущем планируется управляющие воздействия передавать от нейросетевой модели, натренированной по принципу обучения с подкреплением.

Научный руководитель – С. В. Бушуев, д.т.н., проректор по научной работе.

Работа выполнена при поддержке ОАО «РЖД» грант молодым ученым по договору №6449491 от 17.02.2026.

Список литературы

1. Розенберг, Е. Н. Применение технологии виртуальной сцепки на восточном полигоне // Автоматика, Связь, Информатика. 2025. № 8. С. 7–11.
2. Хромушкин, К. Д. Цифровая увязка станционной инфраструктуры и локомотива по радиоканалу // Автоматика, Связь, Информатика. – 2025. – № 5. – С. 10–11.
3. Голочалов, Н. С. Повышение пропускной способности железных дорог за счет совершенствования работы устройств автоматики и телемеханики : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург: УрГУПС, 2023. 183 с.

4. Никонюк, А. А. Информационное обеспечение при вождении поездов с применением технологии «виртуальная сцепка»: ключевые направления развития // Транспорт Российской Федерации. Журнал О Науке, Практике, Экономике. 2025. № 1 (116). С. 18–22.
5. Бушуев, С. В. Влияние алгоритмов управления группой поездов на время хода по участку. Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. С. 90–94.
6. Голочалов, Н. С. Анализ загруженности станций по данным архивов систем централизаций. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2021. С. 20–24.
7. Третьяков, Е. А. Управление электроподвижным составом на основе мгновенных тяговых расчетов с учетом режимов работы системы электроснабжения железных дорог // Вестник Ростовского Государственного Университета Путей Сообщения. 2023. № 4 (92). С. 242–252.
8. Третьяков, Е. А. Повышение эффективности использования системы автоведения грузовых электровозов по данным текущих измерений бортовых систем и мгновенных тяговых расчетов // Известия Транссиба. 2022. № 2 (50). С. 55–65.
9. Голочалов, Н. С. Обзор библиотек для машинного обучения с подкреплением в задаче тестирования алгоритмов беспилотного движения поездов // Инновационный Транспорт. 2025. № 3 (57). С. 16–21.
10. Бушуев, С. В. Возможности применения машинного обучения для анализа движения поездов. Омский государственный университет путей сообщения, Омск, 2024. С. 72–78.
11. Правила тяговых расчетов для поездной работы. 2016.
12. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. Министерство транспорта Российской Федерации.

В. П. Клюка, П. Б. Сергеев, С. А. Мосол

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ СОВРЕМЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В данной работе представлен анализ развития конструкции тормозных цилиндров железнодорожного подвижного состава, тенденции их совершенствования в соответствии с изменениями конструкции локомотивов, вагонов и моторвагонного подвижного состава в целях увеличения массы, длины и скорости движения поездов

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог, наука о тормозах, виды и типы тормозов, тормозное оборудование, тормозные цилиндры со штоками, жестко связанными с поршнем, тормозные цилиндры с самоустанавливающимися штоками, шарнирно связанными с поршнем, малогабаритные тормозные цилиндры, укороченные тормозные цилиндры, тормозные цилиндры со встроенными авторегуляторами выхода штока, тормозные цилиндры с автоматическим стояночным тормозом, подготовка тормозных цилиндров в качестве натуральных образцов для учебного процесса со студентами.

С момента появления пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава постоянно проводились и проводятся научные исследования в целях совершенствования их конструкции для повышения тормозной эффективности в условиях постоянного роста скоростей движения поездов, их массы и длины. В ходе этих исследований наука о тормозах предлагает новые решения как в целом по тормозному оборудованию подвижного состава, так и по отдельным его элементам. В частности, в ходе эволюции тормозов появился вначале неавтоматический пневматический тормоз, а затем уже и автоматический. Пневматический тормоз впоследствии, в дополнение к автоматическому непрямодействующему тормозу пассажирского типа, получил еще и автоматический прямодействующий тормоз грузового типа.

Однако во всех этих разновидностях пневматического тормоза присутствует ряд одинаковых составных частей, независимо от типа тормоза. В

частности, к таким составным частям тормозных систем подвижного состава можно отнести тормозные цилиндры, предназначенные для передачи усилия сжатого воздуха, поступающего в них при торможении, системе тяг и рычагов (тормозной рычажной передаче), посредством которых осуществляется прижатие тормозных колодок к колесам. В тормозных цилиндрах происходит превращение потенциальной энергии сжатого воздуха в механическое усилие на штоке поршня.

За длительный период строительства подвижного состава железных дорог в СССР и в России на грузовых и пассажирских вагонах устанавливались тормозные цилиндры различных конструкций и разновидностей. Наиболее распространенными из них были тормозные цилиндры с внутренним диаметром 356 мм (14") – на грузовых вагонах 188Б и на пассажирских вагонах 501Б (рис.1):

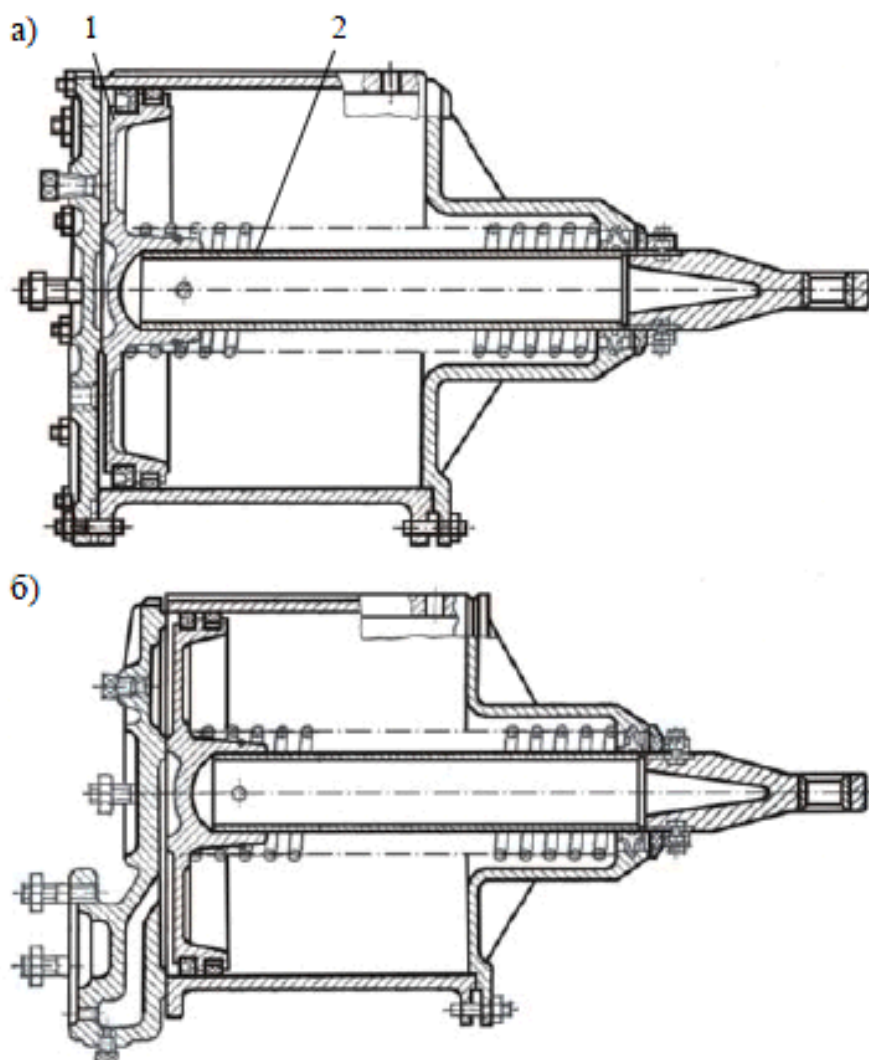


Рисунок 1 – Тормозные цилиндры диаметром 356 мм (14")

а) 188Б - грузовых вагонов; б) 501Б – пассажирских вагонов

Данные тормозные цилиндры имеют штоки, жестко связанные с поршнями и применяются в симметричных тормозных рычажных передачах с длинными тягами на тележки. Конструктивно они идентичны, за исключением задней крышки:

- у тормозного цилиндра 188Б она плоская, имеет два отверстия (для подвода сжатого воздуха от воздухораспределителя и для контрольного манометра, закрытое пробкой);

- у тормозного цилиндра 501Б она имеет прилив с фланцем для крепления рабочей камеры (к которой, в свою очередь, крепятся электровоздухораспределитель 305 электропневматического тормоза и воздухораспределитель 292 или 242) и отверстие для контрольного манометра, закрытое пробкой.

Также на грузовых вагонах используются тормозные цилиндры 586 диаметром 356 мм (14") штампо-сварной конструкции (рис. 2):

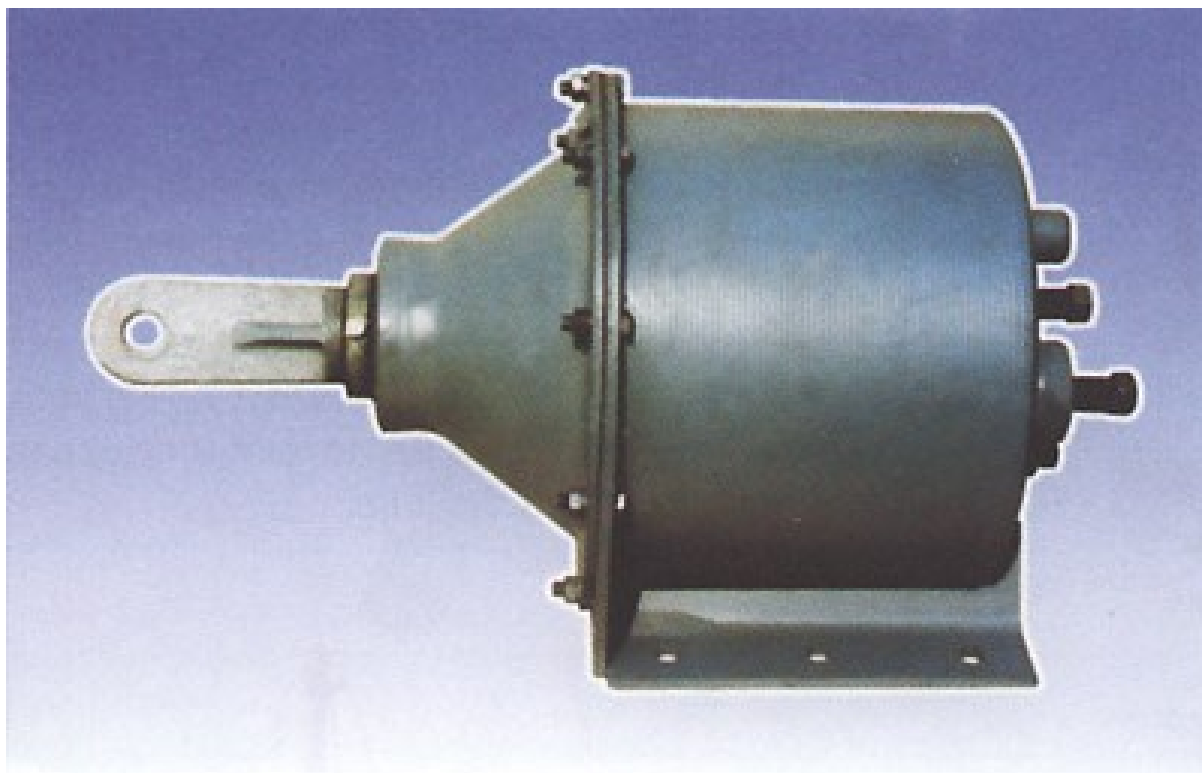


Рисунок 2 – Тормозной цилиндр 586

В связи с совершенствованием тормозов грузовых вагонов и увеличением нагрузки на ось до 23,5 т и 25 т на таких вагонах начали применяться тормозные

системы с раздельным (потележечным) торможением и малогабаритными цилиндрами № 710 (рис. 3) меньшего диаметра 254 мм (10"):

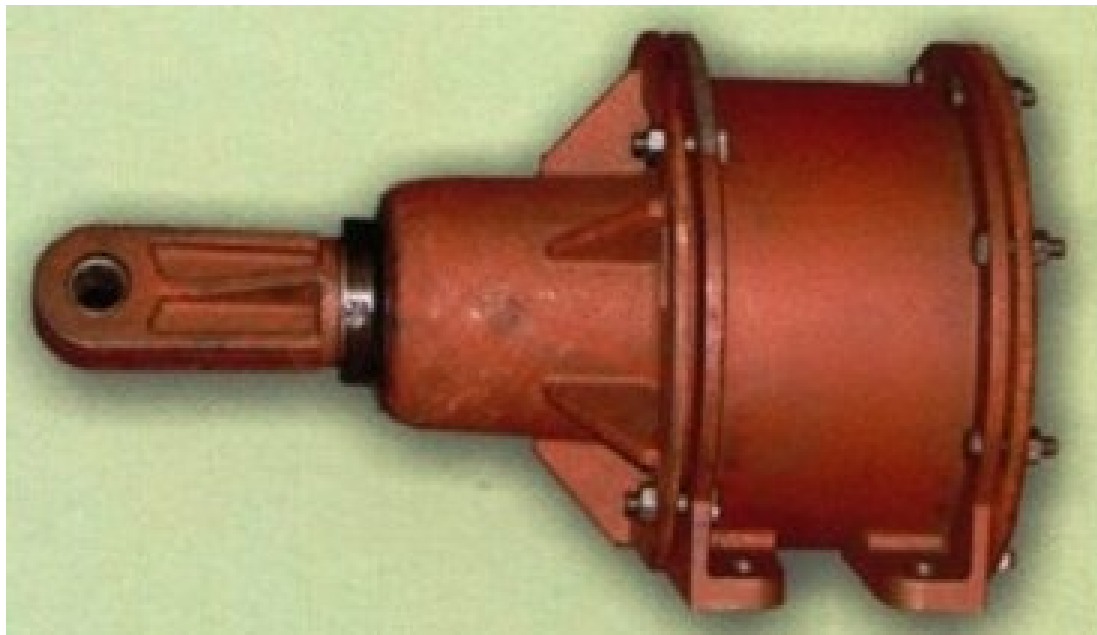


Рисунок 3 – Тормозной цилиндр 710

Также на вагонах бункерного типа с раздельным торможением применяются типовые тормозные цилиндры диаметром 356 мм (14").

Раздельное (потележечное) торможение грузовых вагонов с увеличенной осевой нагрузкой позволяет повысить тормозное нажатие и увеличить скорости движения грузовых поездов.

На локомотивах, в силу конструктивных особенностей тормозных рычажных передач (с короткими тягами) используются тормозные цилиндры с самоустанавливающимся штоком, шарнирно связанным с поршнем посредством пальца, 502Б (рис. 4) и 507Б. Они различаются между собой разными диаметрами (соответственно, 356 мм или 14" и 254 мм или 10"), при одинаковом максимальном ходе поршня 240 мм. Также использовались аналогичные по конструкции тормозные цилиндры 503Б (диаметром 330 мм или 13" с максимальным ходом поршня 150 мм).

ТОРМОЗНОЙ ЦИЛИНДР №502Б

УСТРОЙСТВО ТЦ №502Б

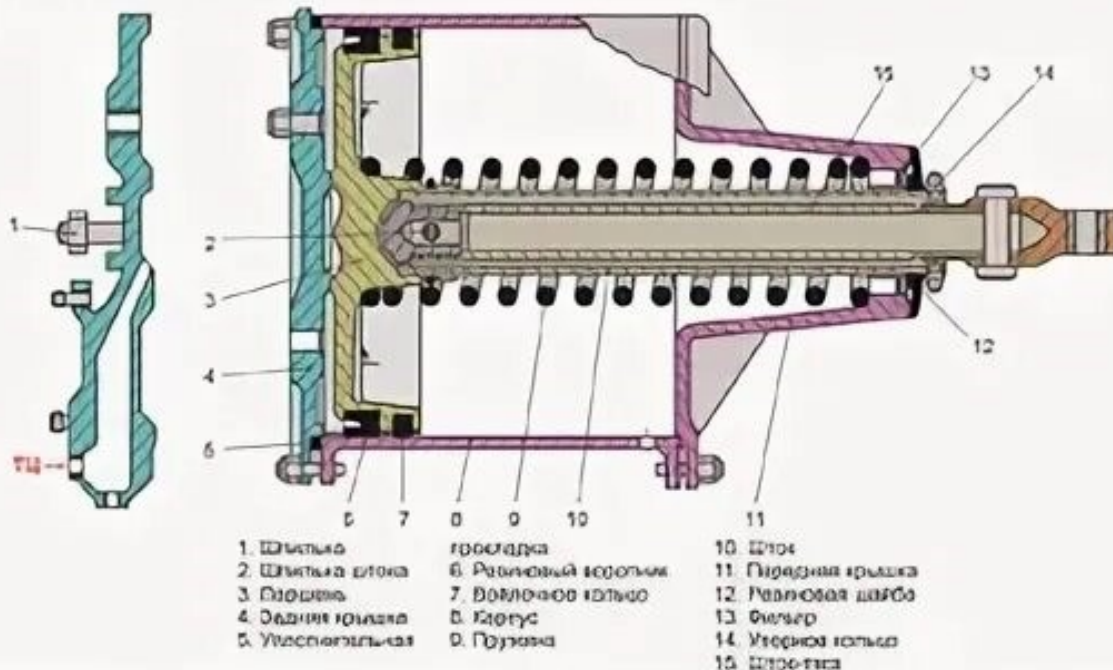


Рисунок 4 – Тормозной цилиндр 502Б.

Использование тормозных цилиндров с самоустанавливающимся штоком позволяет избежать его изгиба вследствие действия упругих деформаций в тормозной рычажной передаче при больших усилиях на тормозные колодки.

На современных локомотивах и инновационных грузовых вагонах применяются тормозные цилиндры ТЦР-3 диаметром 203 мм (и ряд других аналогичной конструкции) со встроенным авторегулятором выхода штока (рис. 5).

Встроенный авторегулятор в таком тормозном цилиндре обеспечивает автоматическое поддержание величины хода штока в пределах, гарантирующих постоянную величину зазоров между тормозными колодками и бандажом колеса по мере их износа (до очередной замены изношенной тормозной колодки с последующей разовой ручной подрегулировкой выхода штока).

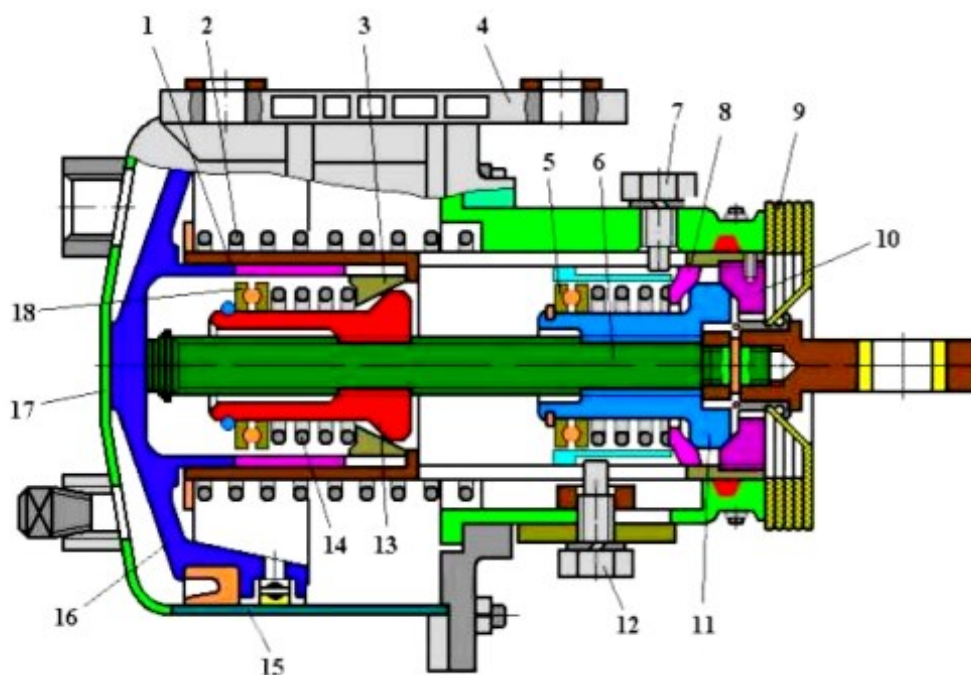


Рисунок 4 – Тормозной цилиндр ТЦР-3 диаметром 203 мм со встроенным авторегулятором выхода штока:

- 1 – стакан авторегулятора, 2- возвратная пружина, 3, 8 – конусные втулки, 4 – привалочный фланец, 5, 18 – упорные шарикоподшипники, 6 – шток поршня, 7, 12 – упорные болты, 9 – защитный чехол (пыльник), 10 – резьбовая крышка, 11 – вспомогательная гайка, 13 – регулировочная гайка, 14 – пружина, 15 – корпус, 16 – поршень, 17 – приварное дно

Тормозные цилиндры со встроенными авторегуляторами выхода штока на локомотивах устанавливаются с шарнирным креплением корпуса к раме тележки (из-за невозможности применения в таких тормозных цилиндрах самоустанавливающегося штока, шарнирно связанного с поршнем посредством пальца).

Тормозные цилиндры со встроенными авторегуляторами выхода штока на вагонах и локомотивах значительно упрощают конструкцию тормозной рычажной передачи (с существенным снижением ее веса), уменьшают количество установочных размеров и, соответственно, намного сокращают количество регулировок тормозной рычажной передачи в эксплуатации. Что, в свою очередь, приводит к оптимизации объема технического обслуживания тормозной рычажной передачи к минимально допустимому без ущерба для безопасности движения.

Для электропоездов ЭД4М/ЭД9М прежних лет постройки применяются укороченные тормозные цилиндры 578 (рис. 5), имеющие диаметр 254 мм и

максимальный ход поршня 125 мм.



Рисунок 6 – Тормозной цилиндр 578

У тормозных цилиндров 578 шток самоцентрирующийся, шарнирно связанный с поршнем. Предусмотрена возможность присоединения к корпусу такого цилиндра штуцера воздухопровода к пневмоприводу авторегулятора РВЗ выхода штока. В работе которого участвует поршень такого тормозного цилиндра, который при увеличении выхода штока более нормы из-за износа тормозных колодок при торможениях открывает своей кромкой доступ сжатого воздуха из тормозного цилиндра в пневмоцилиндр авторегулятора с храповым механизмом и через его действие вследствие стягивания тормозной рычажной передачи выход штока уменьшает до нормы.

На современных электропоездах последних лет постройки ЭП2Д, ЭП2ДМ, ЭПЗД. применяются тормозные цилиндры 578С (рис. 7) с автоматическим стояночным тормозом АСТ, который предназначен для создания тормозного усилия на железнодорожном подвижном составе, его закрепления на стоянке от самопроизвольного ухода или принудительной аварийной остановки с фиксацией основной тормозной системы в заторможенном состоянии на неопределённый срок (с помощью дополнительных пружинных энергоаккумуляторов, воздействующих, при отсутствии сжатого воздуха, на шток основного тормозного цилиндра 578 в стояночном режиме.)

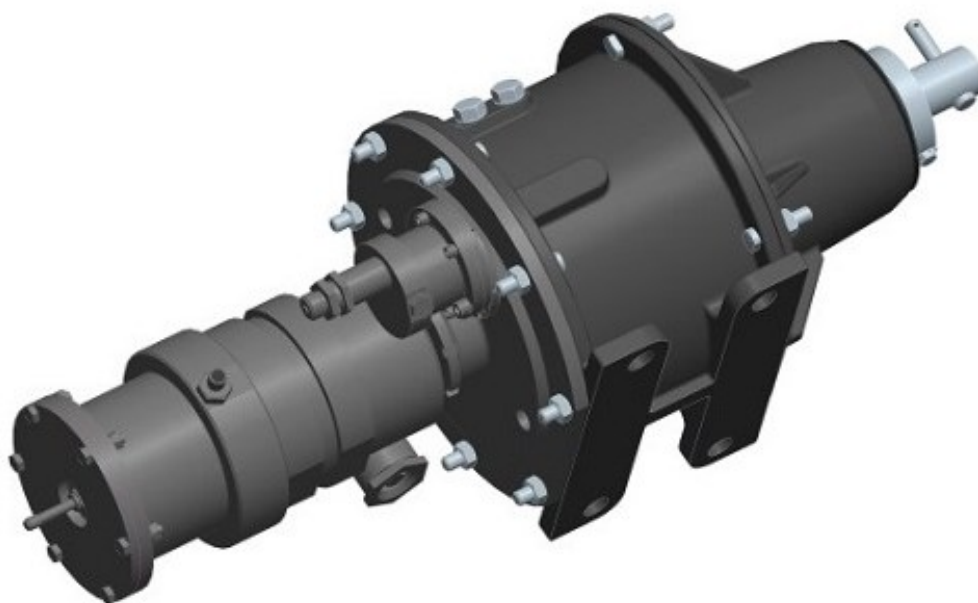


Рисунок 7 – Тормозной цилиндр 578С с автоматическим стояночным тормозом АСТ

Автоматический стояночный тормоз, вначале как ручной тормоз с пневматическим приводом, впервые появился на грузовых автомобилях «КамАЗ». Впоследствии автоматический стояночный тормоз аналогичной конструкции и принципа действия был применен впервые на вагонах электропоездов метрополитена. После чего автоматический стояночный тормоз стал применяться на рельсовых автобусах, в конструкции которых использован кузов, аналогичный кузову вагонов метрополитена (и позже – также на электропоездах современной постройки). Автоматический стояночный тормоз позволяет автоматизировать и максимально ускорить процесс закрепления подвижного состава. Кроме того автоматический стояночный тормоз может использоваться для его экстренной остановки в качестве аварийного тормоза, когда остальные виды тормозов вышли из строя.

Характеристики тормозных цилиндров вышеуказанных разновидностей представлены в табл. 1:

Характеристики тормозных цилиндров

№ № п/п	Номер тормозного цилиндра	Диаметр цилиндра, мм (дюймы)	Максимальный ход поршня, мм	Соединение штока с поршнем	Особенности конструкции	Где применяются
1	188Б	356 (14)	240	Жесткое	-	Грузовые вагоны, локомотивы
2	501Б*	356 (14)	240	Жесткое	-	Пассажирские вагоны, локомотивы, электропоезда ЭР постройки РВЗ (головные и прицепные вагоны)
3	586	356 (14)	240	Жесткое	-	Грузовые вагоны
4	710	254 (10)	125, 240	Жесткое	Для раздельного торможения	Грузовые вагоны
5	502Б	356 (14)	240	Шарнирное	-	Локомотивы
6	507Б	254 (10)	240	Шарнирное	-	Локомотивы
7	503Б	330 (13)	150	Шарнирное	-	Локомотивы
8	ТЦР-3	203 (8)	50 (рабочий ход 25)	Жесткое	Со встроенным авторегулятором	Локомотивы, грузовые вагоны
9	578	254 (10)	125	Шарнирное	С отверстием для штуцера отвода сжатого воздуха к авторегулятору РВЗ	Электропоезда постройки РВЗ ЭР (моторные вагоны), ЭР2Р, ЭР2Т, ЭР9М, ЭР9Е, постройки ДМЗ (ЭД2, ЭД4, ЭД4М, ЭД9М) и ТопВЗ (ЭТ2)
10	578С	254 (10)	125 (рабочий ход 110)	Шарнирное	С пружинным энергоаккумулятором автоматического стояночного тормоза и с отверстием для штуцера	Электропоезда ЭП2Д, ЭП2/ДМ, ЭП3Д постройки ДМЗ

По мере эволюции тормозных цилиндров улучшались следующие их характеристики при работе тормозов:

- за счет применения многоцилиндровых тормозных систем на локомотивах, инновационных грузовых вагонах и вагонах электропоездов уменьшаются габариты и масса тормозных цилиндров, упрощается конструкция тормозных рычажных передач;

- за счет применения тормозных цилиндров со встроенными

авторегуляторами выхода штока появляется возможность избавиться от тяжелых и громоздких авторегуляторов с ненадежно работающим рычажным приводом на грузовых вагонах, что, в свою очередь, снижает массу и упрощает конструкцию тормозной рычажной передачи, а также сокращает количество ее установочных размеров (с уменьшением количества ее регулировок в эксплуатации), а на локомотивах значительно сокращаются затраты ручного труда локомотивных бригад на подрегулировки тормозных рычажных передач по мере износа тормозных колодок и увеличения выходов штоков тормозных цилиндров;

- применение пневмомеханического авторегулятора РВЗ выхода штока позволяет значительно уменьшить габариты и массу тормозных цилиндров, работающих с авторегуляторами такого типа;

- применение тормозных цилиндров с автоматическим стояночным тормозом позволяет за счет действия пружинных энергоаккумуляторов автоматизировать процессы закрепления и раскрепления подвижного состава со значительным сокращением затрат времени на эти операции локомотивными бригадами, применять автоматический стояночный тормоз в качестве аварийного при отказе основных тормозов и, тем самым, повысить безопасность движения.

На кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС в целях повышения качества учебного процесса студентов при изучении конструкций тормозных цилиндров в рамках подготовки выпускных квалификационных работ студентами дипломниками заочного и дневного обучения в учебной аудитории № 1-173 «Автотормоза вагонов»:

- на стенде-тренажере тормозного оборудования грузового вагона вместо штампо-сварного тормозного цилиндра 586 установлен действующий малогабаритный тормозной цилиндр 710 (и такой же действующий тормозной цилиндр установлен в локомотивной части стенда тормозного оборудования пассажирского вагона, модернизированного в стенд-тренажер «Тормозное оборудование пассажирского поезда с локомотивной тягой», в этой же аудитории);

- предусмотрена аналогичным вышеуказанным порядком установка действующего тормозного цилиндра со встроенным авторегулятором в локомотивную часть стенда тормозного оборудования грузового вагона,

модернизируемого в стенд-тренажер тормозного оборудования грузового поезда.

Планируется аналогичным порядком изготовление наглядных пособий-разрезов натуральных образцов тормозных цилиндров «Тормозной цилиндр 188Б», «Тормозной цилиндр 586», «Тормозной цилиндр ТЦР-3 со встроенным авторегулятором выхода штока», «Тормозной цилиндр 578С с автоматическим стояночным тормозом» (с установкой их на учебном полигоне вуза).

Таким образом, реализуя планы развития лабораторной базы кафедры при содействии предприятий вагонного, локомотивного и моторвагонного профиля, в соответствии с действующими соглашениями о сотрудничестве Западно-Сибирской железной дороги и ОмГУПСа, удастся знакомить студентов университета с инновационными элементами систем торможения подвижного состава в учебных лабораториях и на полигоне действующей железнодорожной техники.

Список литературы

1. Петров, Н. П. О непрерывных тормозных системах / Их устройство и теория их действия. Величина коэффициента трения колес о металлические колодки. Приложение теории к оценке действия некоторых тормозных систем / [Соч.] Н. Петрова. - Санкт-Петербург : тип. Имп. Акад. наук, 1878, 112 с. – Текст : непосредственный.
2. Иноземцев, В.Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава / М. : «Транспорт», 1987, 208 с. – Текст : непосредственный.
3. Асадченко, В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. – М. : Маршрут, 2006. – 392 с. – Текст : непосредственный.
4. Крылов, В.И. Автоматические тормоза подвижного состава : учебник для техникумов железнодорожного транспорта и учебное пособие для технических школ / В.И. Крылов, В.В. Крылов. – М. : «Транспорт», 1983. 360 с. – Текст : непосредственный.
5. Крылов, В. И. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: Справочник. – М.: Транспорт, 1989. - 487 с. – Текст : непосредственный.

С. Д. Ахмед, В. Е. Митрохин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В этом исследовании рассматривается взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью различных материалов и возможным воздействием электромагнитного излучения, генерируемого радиовещательными станциями, на кабели связи. Были проведены практические эксперименты по измерению емкости материалов при различных тепловых режимах, оценке констант изоляции с использованием математических моделей, связанных с составляющими горизонтального и вертикального электрического поля.

Ключевые слова: Диэлектрическая проницаемость, электромагнитные помехи (ЭМИ), помехи от радиостанций, эффективность экранирования кабелей, проводимость грунта, методика прокладки кабелей связи, надежность эксплуатации кабеля, экологические стандарты при прокладке кабеля, совершенствование технологий прокладки кабеля, влияние окружающей среды на кабели связи.

Введение. Передача сигнала по кабелям связи зависит от многих физических факторов, включая изоляционные свойства окружающей среды. Относительная проницаемость изоляции (ϵ_A) влияет на распространение электромагнитных волн и уровень помех, создаваемых внешними источниками, такими как радиовещательные станции. Данное исследование направлено на то, чтобы соотнести измеренные значения констант изоляции различных материалов (воздуха, почвы, воды, песка, полиэтилена и т.д.) с теоретическим воздействием радиоизлучения на металлические кабели с использованием уравнений распространения поля и коэффициента затухания [1].

Методология. Мы изготовили устройство для измерения электрической емкости и, таким образом, расчета относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_r) различных материалов следующим образом.

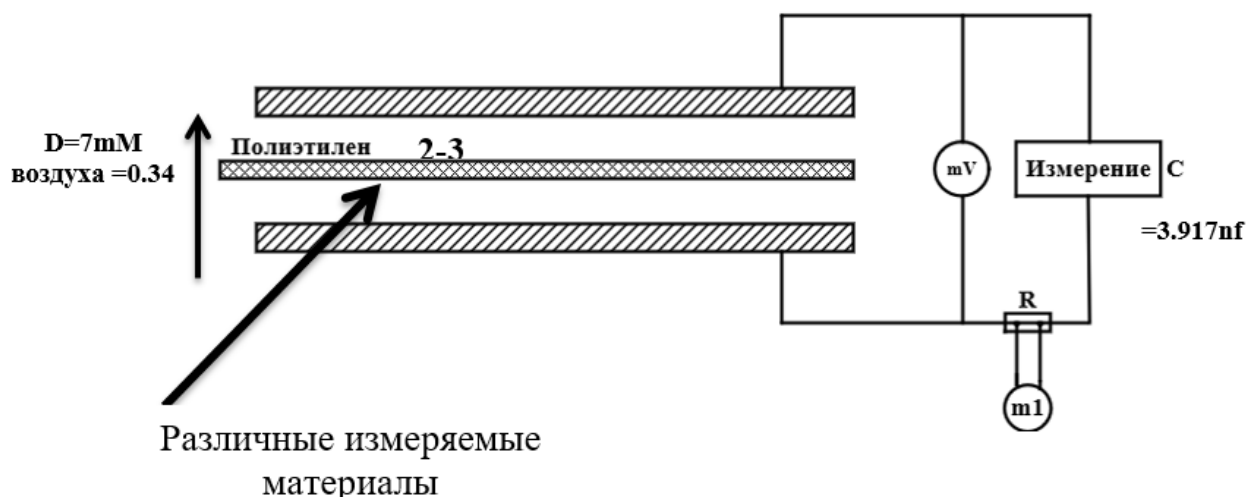


Рисунок 1 – Устройство для измерения диэлектрической проницаемости материалов

Описание измерительного прибора, использованного в эксперименте:

1. Назначение прибора:

Данное лабораторное устройство специально разработано и собрано для измерения электрической ёмкости образцов различных материалов в контролируемых условиях (температура $+4^{\circ}$ до 25°) с целью расчета их относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_r или ϵ_A).

2. Принцип работы:

Устройство основано на принципе конденсатора с параллельными пластинами. Образец исследуемого материала помещается между двумя проводящими пластинами, которые выполняют роль диэлектрика между ними. Измеряется результирующая ёмкость, которая связана с диэлектрической проницаемостью материала соотношением,

C : измеренная ёмкость (в фарадах).

ϵ_0 : Допустимость пространства (8.854×10^{-12} Ж/м 8.854×10^{-12} Ф/м).

ϵ_r : Относительная диэлектрическая проницаемость материала (требуется).

A : площадь поверхности противоположных панелей.

d : расстояние между пластинами (толщина образца).

3. Основные компоненты (как показано на схеме) Рисунок 1:

Электродинамическое моделирование: состоит из двух параллельных металлических пластин (электродов), которые могут быть разделены для размещения образца между ними. Геометрические размеры должны быть (A и d) точно известны. Цифровой измеритель ёмкости: прецизионное электронное устройство (показано на чертеже в виде коробки, подключенной к ячейке), отвечающее за подачу небольшого напряжения и непосредственное измерение

электрической емкости ячейки с образцом в единицах Фарад (F), Милли-фарад (mF), микрофарад (μF) или нанофарады (nF).

Система контроля температуры (подробно не описана): указывает на то, что измерения проводились в контролируемой среде с постоянной температурой (+4°C), чтобы обеспечить постоянство электрических свойств материалов и исключить влияние температурных изменений.

Соединительные цепи: экранированные кабели для точного подключения измерительной ячейки к измерительному прибору и уменьшения помех.

Эксперименты 2.11.2025 Измерения ёмкость температура +4

Таблица 1 – Математический расчет

Материалы	Эксперименты от 2/11/2025 температура +4		Эксперименты от 23/11/2025 температура +4	
	Электрическая емкость материалов	$\epsilon_A =$	Электрическая емкость материалов	$\epsilon_A =$
Воздух		3.917		
Земля	2.85-4.94nf	62.7	23nf	0.26
OSB	0.72 nf	0.195		
Измерение снег			1.40 nf	4,42
Вода	3.54nf	4.9722		
Вода с сол	4.07 nf	6.5784		
Песок	4.02 nf	1.4329		
грунт	0.13nf	6.7051		
пленка	0.6	1.4295		
замороженного леда			2,94 nf	4,6
Земля замерзла			7.102 nf	4,11
Полиэтилен	0.09nf	0.508		

$$C = \frac{q}{v} = \frac{q \cdot \epsilon \cdot \epsilon_{0,S}}{q \cdot d} = \frac{\epsilon \epsilon_{0,S}}{d}$$

$$v = Ed = \frac{qd}{\epsilon \epsilon_{0,S}}$$

$$E = \frac{\delta}{\epsilon \epsilon_{0,S}} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_{0,S}}$$

$$\delta = \frac{q}{s}$$

$$\varepsilon = \frac{c \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot s}$$

Теория влияния радиостанций на цепи кабелей связи [2]

Общие уравнения влияния радиостанций

Согласно общей теории влияния электромагнитных полей различных источников на цепи кабелей с металлическими покровами применительно к влиянию радиостанций можно записать следующие выражения для напряжений, индуцируемых на концах двухпроводной цепи:

Для ближнего конца: (2.1.3)

$$U_{\text{ТН}} = (r_0 \sigma) / 2 \eta_{\text{ТН}} \int_0^l E_{\tau}(x) e^{-tA^x} dx$$

Для дальнего конца: (2.1.4)

$$U_{\text{ТК}} = (r_0 \sigma) / 2 \eta_{\text{ТК}} \int_0^l E_{\tau}(x) e^{-tA^((l-x))} dx$$

Обозначения:

$\eta_{\text{ТН}}$ и $\eta_{\text{ТК}}$ — коэффициенты, определяющие соотношение между напряжениями в двухпроводной и однопроводной цепях соответственно на ближнем и дальнем концах (коэффициенты чувствительности)

$E_{\tau}(x)$ — составляющая вектора напряженности электромагнитного поля, направленного вдоль оси кабеля в точке x , в/М (рис. 2)

Y_A — постоянная распространения цепи «пучок жил—земля» [2]

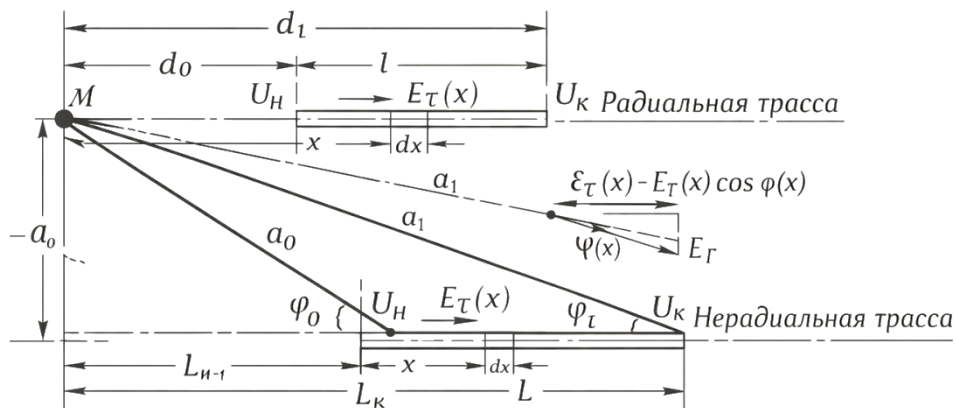


Рисунок 2 – Участки радиальной и нерадиальной трасс кабеля [1]

Определение напряженности электромагнитного поля радиостанции по трассе кабеля

Напряженность поля радиостанции с достаточной степенью точности

определяются по формуле Шулейкина — ван дер Поля: (2.4)

$$E(d) = (245 V)/d \sqrt{P_{\text{из}}} e^{-ikd} F(\xi), \quad ue/u,$$

где $P_{\text{из}}$ — излучаемая мощность, кВт

d — расстояние от радиостанции до рассматриваемой точки, км

k — фазовый коэффициент распространения радиоволны, 1/км

$F(\xi)$ — коэффициент ослабления электромагнитной энергии радиопередачи

Коэффициент ослабления $F(\xi)$

Коэффициент ослабления $F(\xi)$ определяет потери электромагнитной энергии в земле. Величина коэффициента ослабления находится в сложной зависимости от величины ξ , которую называют численным расстоянием. (2.3.1)

$$F(\xi) = \frac{2 + 0,3\xi}{2 + \xi + 0,6\xi^2}$$

Численное расстояние

В свою очередь, величина ξ зависит от комплексной диэлектрической проницаемости земли по трассе распространения радиоволн и расстояния от радиостанции до рассматриваемой точки.

Комплексная диэлектрическая проницаемость земли: (1.6) 2.3.3

$$\varepsilon_{k3} = \varepsilon_A - i\varepsilon_M, \quad \phi/m,$$

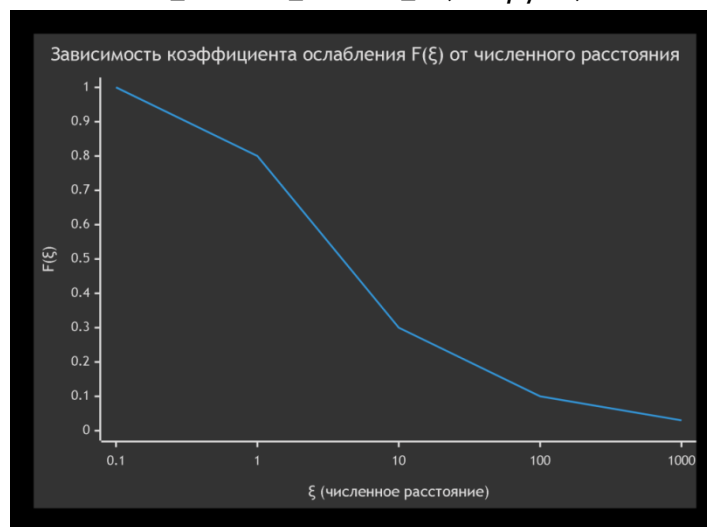


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента затухания (ξ) от численного расстояния [1]

Области: $\xi < 1$: $F(\xi) \approx 1$ (малые потери), $1 < \xi < 10$: Быстрое уменьшение, $\xi > 10$: $F(\xi) \propto 1/\xi$ (сильное ослабление).

Расчет численного расстояния

$$\xi = \pi d / (60 \lambda \sigma_3) \cdot \sqrt{(\varepsilon_r - 1)^2 + (60 \lambda \sigma / d)^2}$$

где λ — длина волны, м

ε_r — относительная диэлектрическая проницаемость

σ — проводимость земли, См/м

d — расстояние, км

Выбор типа трассы:

Радиальная трасса (прямая от радиостанции). Проще расчет E_τ .

Максимальное влияние. Нерадиальная трасса (криволинейная)

Учет угла между направлением поля и осью кабеля

$$E_\tau = E \cdot \cos\theta$$

где $\varepsilon_{\text{д}}$ — действительная составляющая, определяемая измерениями;

$\varepsilon_{\text{м}}$ — мнимая составляющая, определяемая по формуле

$$\varepsilon_{\text{м}} = i60\lambda\sigma_3$$

где λ — длина электромагнитной волны в воздухе, м; σ_3 — удельная проводимость земли, См/м.

Величины действительной и мнимой составляющих относительной диэлектрической проницаемости и проводимости земли, необходимые для расчета влияния радиостанций, приведены в табл. 2.[2]

Таблица 2

Вид грунта или воды	$\varepsilon_{\text{д}}$	σ_3 , См/м	$\varepsilon_{\text{мпри}}$ Частота = f . кГц	
			10	300
Сухой (лес, горы)	3 ÷ 4	$(0,01 \div 2) \cdot 10^{-3}$	18 ÷ 3600	0,6 ÷ 120
Влажный	10 ÷ 30	$(3 \div 100) \cdot 10^{-3}$	$(5,4 \div 180) \cdot 10^3$	180 ÷ 6000
Вода рек и озер	80	$(1 \div 24) \cdot 10^{-3}$	$(1,8 \div 43) \cdot 10^3$	60 ÷ 1440
Морская вода	80	1 ÷ 3,3	$(1800 \div 7700) \cdot 10^3$	$(60 \div 258) \cdot 10^3$

Из табл. 2 видно, что для рассматриваемого диапазона частот мнимая составляющая диэлектрической проницаемости земли и воды, как правило, много больше действительной составляющей. Исключение представляют случаи очень сухого грунта (скала) и воды, содержащей очень мало примесей и солей, встречающиеся очень редко. Поэтому с ними можно не считаться и положить

$$\varepsilon_{\text{кз}} = -i60\lambda\sigma_3$$

(2.3.5)

При этом формула для численного расстояния примет очень простой вид:

$$\xi = \pi d / (60\lambda\sigma_3)$$

(2.3.6)

Функцию ослабления приближенно определяют по формуле

$$(2.3.7) \quad F(\xi) = (2 + 0,3\xi)/(2 + \xi + 0,6\xi^2)$$

Для инженерных расчетов по ф-ле (2.3.7) составлена номограмма для определения $F(\xi)$ в зависимости от λ, σ_3, d .

Формула (2.3.4) позволяет определить максимальную напряженность электромагнитного поля излучения радиостанции в точке, удаленной от нее на расстояние d , при любых условиях распространения. Различные препятствия (горы, леса, города), расположенные на трассе распространения, обладают способностью погашать электромагнитную энергию радиоволн. Поэтому величина $F(\xi)$ при наличии на трассе препятствий будет меньше, чем при той же проводимости земли и равнинной местности без леса.

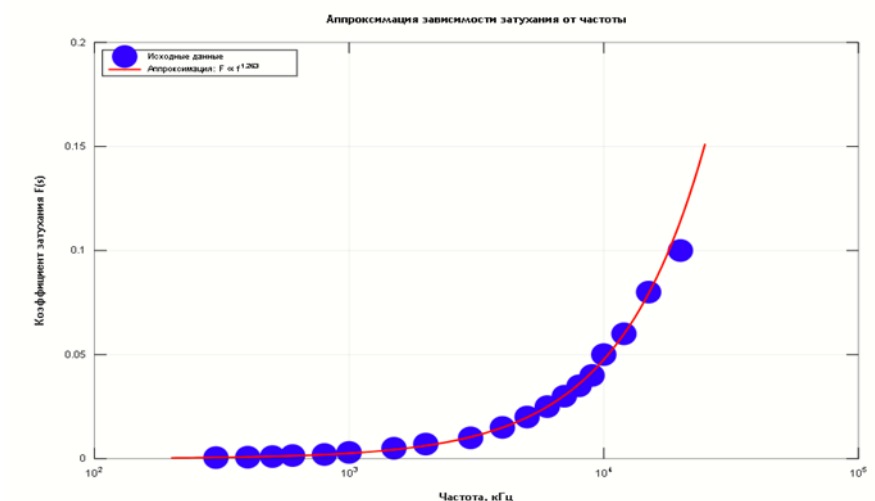


Рисунок 4 – Номограммы для определения коэффициента ослабления радиопередачи [12]

В результате наличия вертикальной составляющей электрического вектора напряжённости электромагнитного поля возникает его горизонтальная составляющая ($E_{\Gamma}(x)$). Проекция этой составляющей на ось кабеля и представляет собой величину ($E_{\Gamma}(x)$), используемую в формулах (2.2) и (2.3).[12]

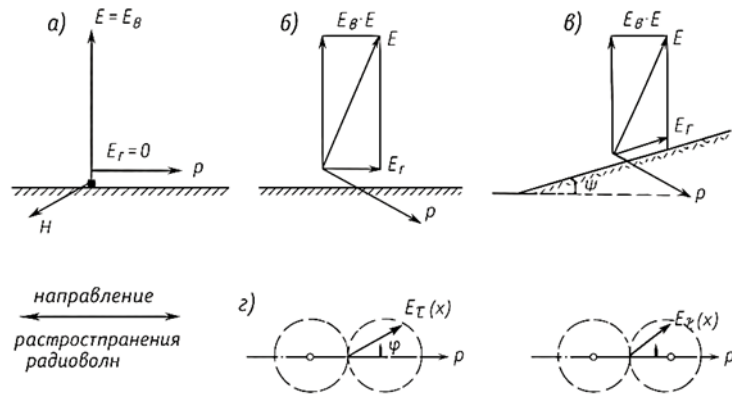


Рисунок 5 – К определению горизонтальной составляющей электрического вектора напряженности поля радиостанции:

а — при идеальной передаче; б — при распространении радиоволн у поверхности земли; в — на наклонной поверхности земли; г — диаграмма направленности горизонтальной составляющей напряженности поля

Из приближенных условий Леонтовича [Л 2.1.3] для границы раздела воздуха и земли получено:

$$E_{Г}(x) = (E_v(x)) / (\sqrt{\epsilon_{ке}}) \text{ мВ/м} \quad (2.3.8)$$

где $E_v(x)$ — вертикальная составляющая электрического вектора напряженности поля в воздухе, мВ/м;

$E_{Г}(x)$ — горизонтальная составляющая электрического вектора напряженности поля у поверхности земли (в земле и в воздухе), мВ/м.

$$E(d) = (245 \text{ "В"}) / d \sqrt{(P_{\text{"из"}})} e^{(-ikd)} F(\xi), \quad \text{мВ/м}$$

Расчет структуры двумерного электрического поля на границе двух сред (воздух-земля) с разделением его вертикальной и горизонтальной составляющих для оценки эффективности диффузии, поверхностного ослабления, свойств проникновения в радио- и геофизических приложениях В соответствии с ранее измеренными материалами.

$$\sigma_3 = 0.1, 0.01, 0.001, 0.001 \dots \dots \dots [10] \wedge (-4), f = 150 \text{ до } 151 \text{ МГц}$$

$$d = 0.1 \text{ км}, 0.3 \text{ км}, 0.5 \text{ км}$$

$$P_{\text{из}} = 1000$$

$$F(\xi) = (2 + 0.3\xi) / (2 + \xi + 0.6\xi^2)$$

$$\epsilon_{\text{"м"}} = i60\lambda\sigma_3$$

$$\dot{\varepsilon}_{k3} = \varepsilon_A - i\varepsilon_M, \quad \frac{\phi}{u},$$

$$\xi = \frac{\pi d}{60\lambda\sigma_3}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{150 \cdot 10^8} = \frac{3}{150} \cdot 10^2 = \frac{300}{150} = 2m$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{6.28}{2} = 3,14 \text{ 1/km}$$

Результаты и обсуждение

Песок $E(d) = \frac{245B}{d} \sqrt{P_{ИЗ}} e^{-ikd} F(\xi), \text{ мВ/м}$

Песок $\varepsilon_A = 1.4329, d=0.1\text{km}, k=3.14, P_{ИЗ} = 1000, \sigma_3 = 0,1, \lambda = 2m, k = 3,14$

$$\xi = \frac{\pi d}{60\lambda\sigma_3} = \frac{3,14 \times 0,1}{60 \times 2 \times 0,1} = 0.02617$$

$$F(\xi) = \frac{2+0,3\xi}{2+\xi+0,6\xi^2} = \frac{2+0,3 \times 0.02617}{2+0.02617+0,6 \times 0.02617^2} = 0.9908$$

$$E(d) = \frac{245B}{0,1} \times \sqrt{1000} \times e^{-i3,14 \times 0,1} \times 0.9908, = E(d) \approx 76747.8$$

$$\dot{\varepsilon}_{k3} = \varepsilon_A - i\varepsilon_M,$$

$$\varepsilon_M = i60\lambda\sigma_3 = i60 \times 2 \times 0.1 = 12$$

$$\dot{\varepsilon}_{k3} = 1.4329 + 12 = 13,432$$

$$\dot{\varepsilon}_{k3} = 13,432, E(d) = 76747.8, d=0,1$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{E_B(x)}{\sqrt{\varepsilon_{ke}}} \text{ мВ/м}$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{76747.8}{\sqrt{13,432}} = 22.362 \text{ мВ/м} = 0.022362 \text{ V/m}$$

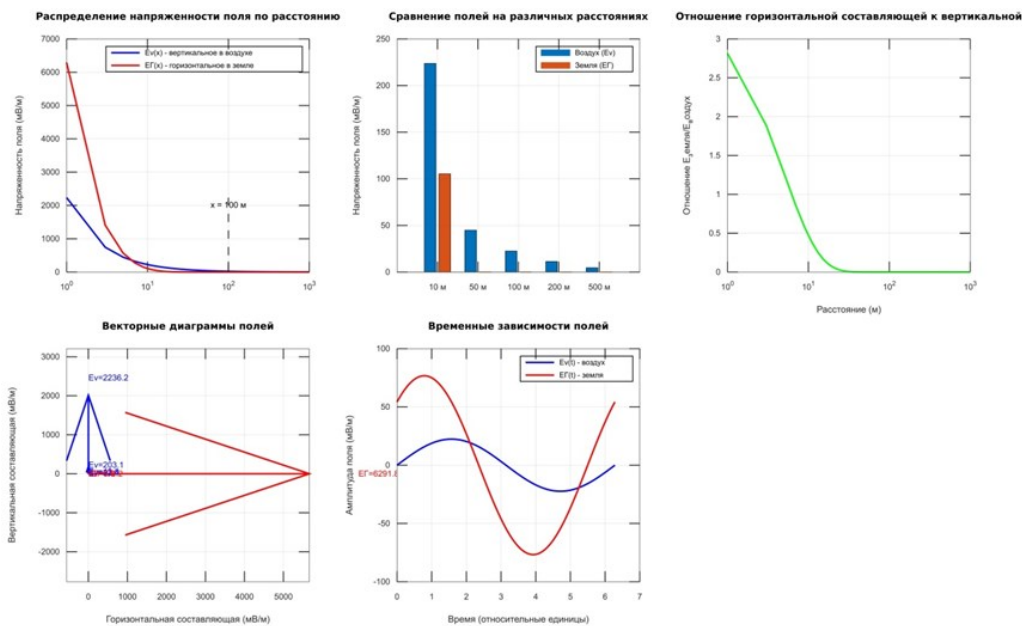


Рисунок 6 – Вертикальное и горизонтальное комбинированное моделирование электрического поля

Общие научные выводы из расчета

Напряженность поля сильно уменьшается с расстоянием (затухание).

Земля ослабляет поле быстрее, чем воздух.

Вблизи источника доминирует Земля; вдали от него - воздух.

Векторное представление необходимо для понимания направления энергии.

Временное поведение отражает физические свойства среды.

3.4 ранее были исследованы ЕХ в/ М проводимости Земли $\sigma_3=10$ до 10^{-4} ,
 $f=150$ до 151 мГц комплексные значения вещества песка

$$E_x = \varepsilon_A + i\varepsilon_M = 1.4329 + 13.432i = 14.8649$$

$$E_x = 14.8649, E(d) \approx 76747.8$$

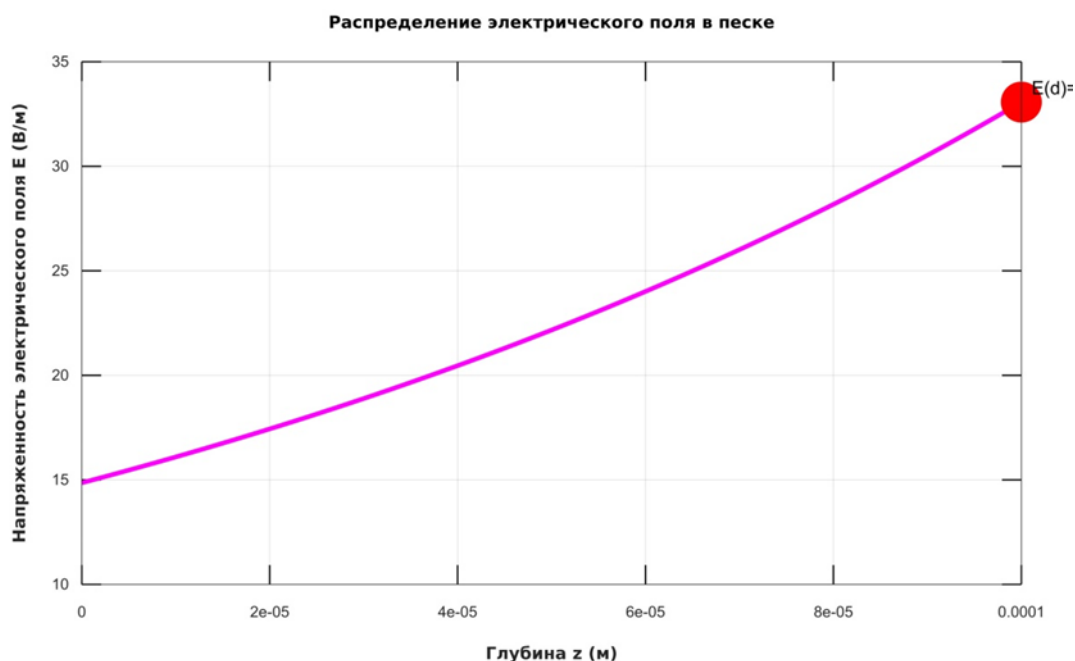


Рисунок 7 – Частотная зависимость относительного вклада механизмов поляризации в комплексную проводимость (σ) песка

Заключение, основанное на результатах исследования песчаных материалов

Сравнение результатов двух формуляров (Рис.6 и 7) для песчаных материалов.

Чертежи на первом рисунке показывают поведение электрического поля, генерируемого источником, с точки зрения его распространения в воздухе и на земле, поскольку напряженность поля быстро уменьшается с увеличением расстояния из-за геометрического распространения и разницы в направлении вертикальных и горизонтальных транспортных средств. На рисунке 7 показано, что влияние источника является локальным и сильным вблизи него, а затем постепенно ослабевает, пока не становится незначительным на больших расстояниях.

В свою очередь, на втором рисунке показана реакция материальной среды

(песка) на электромагнитное поле, показывающая, что затухание зависит не только от расстояния, но и сильно зависит от частоты, механизмов поляризации, комплексной проводимости, температуры. Результаты показывают, что песок действует как волнопоглощающая среда, поскольку глубина проникновения уменьшается, а потери увеличиваются с увеличением частоты.

В целом, на первом рисунке показано, как распространяется электрическое поле, в то время как на втором рисунке объясняется, почему это поле ослабевает внутри материала. Сочетание этих двух форм подтверждает, что ослабление электромагнитного излучения является результатом совместного взаимодействия свойств источника и среды.

грунт $\epsilon_A = 6.7051$, $d=0.1\text{km}$, $k=3.14$, $P_{из} = 1000$, $\sigma_3 = 0,1$, $\lambda = 2\text{m}$, $k = 3,14$

$$\xi = \frac{\pi d}{60\lambda\sigma_3} = \frac{3,14 \times 0,1}{60 \times 2 \times 0,1} = 0.02617$$

$$F(\xi) = \frac{2+0,3\xi}{2+\xi+0,6\xi^2} = \frac{2+0,3 \times 0.02617}{2+0.02617+0,6 \times 0.02617^2} = 0.9908$$

$$E(d) = \frac{245\text{ B}}{0,1} \times \sqrt{1000} \times e^{-i3,14 \times 0,1} \times 0.9908, = E(d) \approx 76747.8$$

$$\dot{\epsilon}_{k3} = \epsilon_A + i\epsilon_M,$$

$$\dot{\epsilon}_{k3} = 6.7051 + i2 = 18,7051$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{E_B(x)}{\sqrt{\epsilon_{ke}}} \text{ мВ/м}$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{76747.8}{\sqrt{18,7051}} = 0.88164 \text{ мВ/м} = 8.8164 \times 10^{-4} \text{ V/м}$$

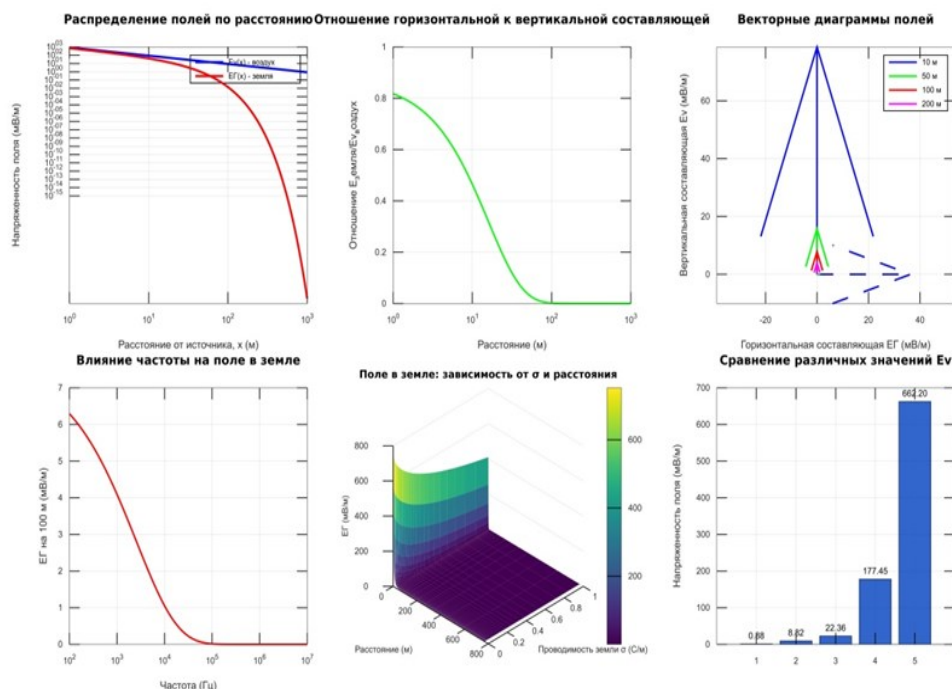


Рисунок 8 – Вертикальное и горизонтальное комбинированное моделирование электрического поля почвенного материала

Исследование E_x в/м от проводимости земли σ_3 , комплексное значение для грунта

$$E_x = \varepsilon_A + i\varepsilon_M = 6.705 + 18.705i = 25.41i$$

$$E_x = 25.41, E(d) \approx 76747.8$$

Физическая и прикладная интерпретация:

Увеличение σ_3 означает улучшение способности почвы пропускать ионный ток, что положительно отражается на:

Взаимодействии почвы с электромагнитными полями (например, технологии дистанционного зондирования, наземный георадар).

Эффективность систем заземления в инженерных приложениях.

Эффективность электромагнитной обработки почвы (улучшение свойств, Составная величина (complex value) почвы во втором случае указывает на:

Более электрически активная среда.

Возможность использования почвы в качестве эффективной среды в интеллектуальных геофизических и сельскохозяйственных приложениях.[13]

$$\text{Пленка } \varepsilon_A = 1.4295, d=0.1\text{km}, k=3.14, P_{из} = 1000, \sigma_3 = 0.1, \lambda = 2\text{m}, k = 3.14$$

$$\xi = \frac{\pi d}{60\lambda\sigma_3} = \frac{3.14 \times 0.1}{60 \times 2 \times 0.1} = 0.02617$$

$$F(\xi) = \frac{2+0.3\xi}{2+\xi+0.6\xi^2} = \frac{2+0.3 \times 0.02617}{2+0.02617+0.6 \times 0.02617^2} = 0.9908$$

$$E(d) = \frac{245\text{В}}{0.1} \times \sqrt{1000} \times e^{-i3.14 \times 0.1} \times 0.9908, = E(d) \approx 76747.8$$

$$\dot{\varepsilon}_{k3} = \varepsilon_A + i\varepsilon_M,$$

$$= 1.4295 + 12i = 13.4295$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{E_B(x)}{\sqrt{\varepsilon_{ke}}} \text{ мВ/м}$$

$$E_{\Gamma}(x) = \frac{76747.8}{\sqrt{13.4295}} = 3.66463 \text{ мВ/м}$$

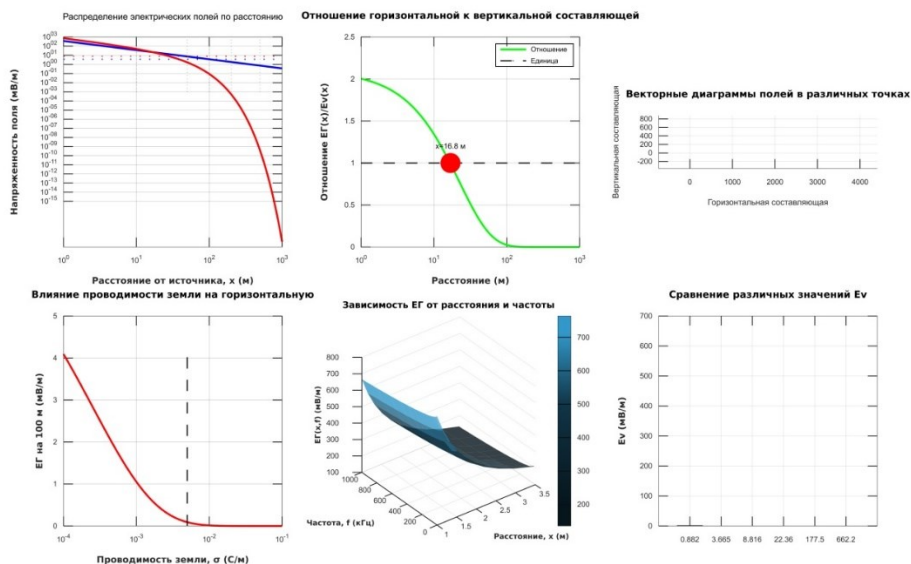


Рисунок 9 – Вертикальное и горизонтальное комбинированное моделирование электрического поля пленко-материала

Исследование E_x в/м от проводимости земли σ_3 , комплексное значение для пленки

$$E_x = \varepsilon_A + i\varepsilon_M = 1.4295 + 13.4295i = 14.859$$

$$E_x = 14.859, E(d) \approx 76747.8$$

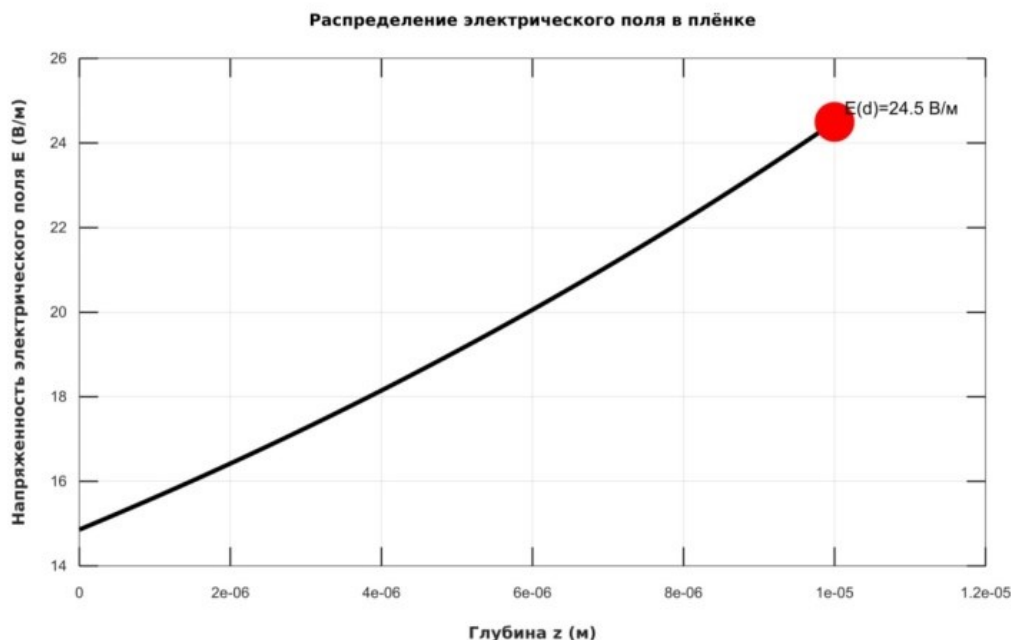


Рисунок 10 – Зависимость E (В/м) от σ_3 для комплексного параметра плёнки

Сравнительный научный анализ двух рисунке (9 и 10) изображений: до и после эксперимента Предварительные наблюдения:

Первое изображение: показывает неравномерное распределение биологических/физических кластеров, с интенсивными и почти пустыми участками. Второе изображение: демонстрирует явный сдвиг в сторону более однородного распределения с изменением относительной плотности.

Научные выводы: Эффект экспериментального вмешательства: преобразование между двумя изображениями демонстрирует четкую эффективность примененной транзакции, демонстрируя реакцию системы на внешнее воздействие.

Динамика системы: переход из неуравновешенного состояния (рисунке 9) в более стабильное (рисунке 10) указывает на сдвиг во внутреннем равновесии системы.

Повторяемость: четкая разница между этими двумя случаями позволяет повторить эксперимент и предсказать сходные результаты в идентичных условиях.[10]

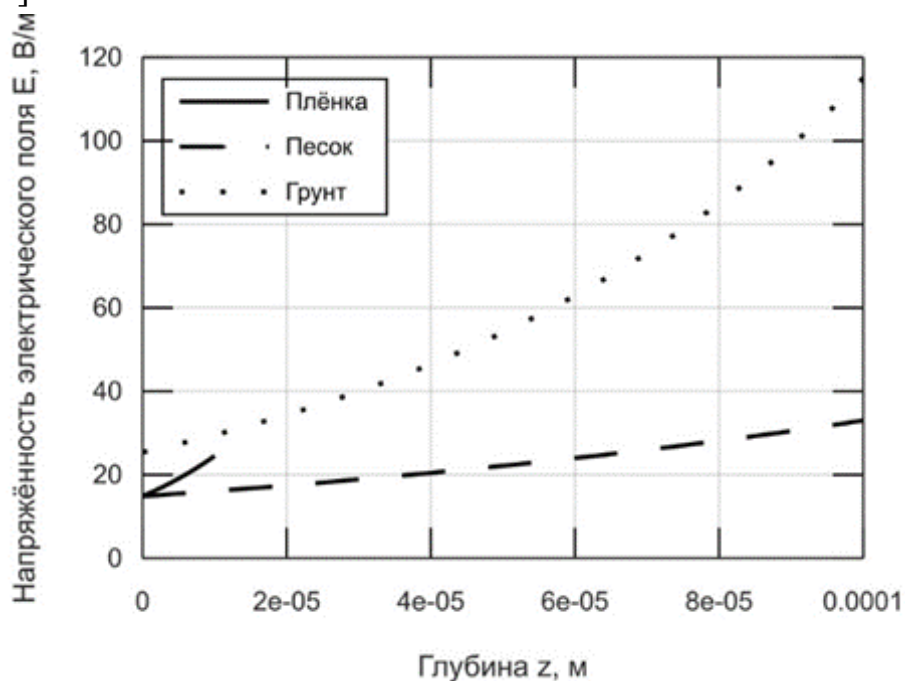


Рисунок 11 – Влияние различных материалов на электрическое поле

На рисунке 11 показан Сравнительный анализ распределения напряженности электрического поля по глубине в различных средах.

Подробнее об электрическом поле (E) в зависимости от глубины (z) в трех разных титрах: (Пероника). Проведенный анализ показывает, что характер распределения поля в дальнейшем объясняется, прежде всего, его диэлектрической проницаемостью и структурной неоднородностью.

Неглубокий грунт характеризуется высокими значениями напряжений.. Наблюдается выраженная квазилинейная зависимость (E(z)), указывающая на усиление поля с увеличением глубины.

На монете указаны промежуточные значения напряжения поля. Обжаривание

(E) с глубиной имеет более жидкий характер по сравнению с зернистой структурой материала, что влияет на линию распределения

Пленка, обладающая ярко выраженными изоляционными свойствами, характеризуется самыми низкими значениями напряжения поля и возможностью получения кредита более чем на год. Это дополнительные диэлектрические свойства кредитной карты, которые ограничивают усиление поля внутри материала.

Количественное сравнение позволяет установить следующее различие:

[E грунт > E песок > E плёнка]

Это соотношение отражает дифференциальный отклик исследуемой среды на воздействие внешнего электрического поля и подтверждает, что распределение поля в неоднородных материалах определяет их физическую электрическую силу.

6-Заключение: В данном исследовании изучалось совместное влияние свойств окружающих изоляционных материалов и внешнего электромагнитного излучения на распространение сигналов в кабелях связи. Объединив экспериментальный метод измерения диэлектрических постоянных (ϵ_A) различных материалов (таких как воздух, почва, песок, вода, полимеры) с математическим моделированием и теоретическим анализом поля передающего кабеля под воздействием внешнего поля (E_x), было достигнуто количественное понимание механизмов взаимодействия.

Основные результаты показали, что материалы с высокой и сложной изоляционной проницаемостью (такие как влажная почва) приводят к большему ослаблению доминирующего электромагнитного поля (E_x), что уменьшает горизонтальную составляющую поля (E_G) и ограничивает влияние радиопомех на кабель. Напротив, материалы с низкой проницаемостью (такие как воздух и полиэтилен) обеспечивают лучшую среду для распространения сигнала, но также более чувствительны к взаимодействию с внешними полями. Эти зависимости были проверены путем моделирования двумерного распространения поля на границе воздух-земля и расчета основных зависимостей, таких как коэффициент затухания (ξ) и функция затухания ($F(\xi)$), которые точно определяют интенсивность наведенного поля вдоль кабеля. Анализ линии передачи с распределенными параметрами (R, L, G, C) также подтвердил, что конструкция кабеля и баланс его исходных параметров в решающей степени определяют эффективный частотный диапазон и степень затухания, особенно на высоких частотах.

Прикладные перспективы: результаты этого исследования обеспечивают инженерную основу для оптимизации конструкции кабельных систем в различных условиях, выбора подходящих изоляционных и экранирующих материалов и снижения уровня радиопомех в жизненно важных сетях связи, особенно в тех, которые расположены вблизи мощных источников вещания. Это также открывает возможности для разработки более точных прогнозных моделей для оценки электромагнитных характеристик кабелей в сложных условиях эксплуатации.

В заключение, это исследование подчеркивает важность интеграции точных физических измерений векторов внешней среды и усовершенствованного электромагнитного моделирования для обеспечения надежности и эффективности систем проводной связи во все более сложной электромагнитной среде.

Список литературы

1. Борн М., Вольф Э. (2013). Принципы оптики: электромагнитная теория распространения, интерференции и дифракции света. Elsevier. (Объясняет основы интерферометрии и показатель преломления воздуха). С. 29.30
2. Измерение влажности почвы для экологических и гидрологических обсерваторий на уровне водосборных бассейнов: обзор. (Вадозный Зональный Журнал), 7(1), 358-389. (Рассматриваются методы измерения влажности почвы с использованием коэффициента отражения и разности фаз).
3. Дэниелс, Д. Д. (2004). Наземный проникающий радар (2-е изд.). Институт инженерии и технологий. (Объясняет влияние веществ с высокой диэлектрической проницаемостью, таких как вода, на радиолокационный сигнал).
4. Туп, Дж. К., Дэвис, Дж. Л., и Аннан, А. П. (1980). Электромагнитное определение содержания воды в почве: измерения в осевых линиях передачи. (Исследование водных ресурсов), 16(3), 574-582. (Основополагающее исследование для измерения влажности почвы).
5. Проектирование и калибровка цилиндрического зонда TDR большой емкости для измерения содержания воды в почве. (Вадозный Зональный Журнал), 1(2), 322-330.
6. Добсон, М. К., Улаби, Ф. Т., Халликайнен, М. Т., и Эль-Райес, М. А. (1985). Микроволновое диэлектрическое поведение влажной почвы – часть II: Модели диэлектрического смешивания. IEEE Транзакции по геонауке и дистанционному зондированию, (1), 35-46. (Предоставляет комплексные модели диэлектрического смешивания для влажных почв, включая глинистые).
7. Рэйт, Дж. М., и Ор, Д. (1999). Содержание воды в почве и взаимосвязи с водным потенциалом. В (Справочник по почвоведению). CRC Press. (Обсуждает особенности измерения воды в микропористых средах).
8. Улаби Ф. Т., Мур Р. К. и Фунг А. К. (1986). Дистанционное зондирование в микроволновой печи: активное и пассивное, Том III: От теории к применению.
9. Труды IEEE по наукам о земле и дистанционному зондированию, С 35-46.
10. Электромагнитные влияния на сооружения связи — книга М. И. Михайлова, Л. Д. Разумова, С. А. Соколова, изданная в Москве издательством «Связь» в 1979 году. С,202,203,204,205,206,207.

К. А. Калинин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

В материалах статьи рассмотрена статистика отказов моторвагонного подвижного состава моторвагонного депо Новосибирск, определены основные причины отказов, а также разработаны мероприятия по снижению случаев отказов, повышения надежности моторвагонного подвижного состава.

Ключевые слова: электропоезд, отказ, перенапряжения, пробой, линейный контактор.

Ежедневная работа моторвагонного депо направлена на один из ключевых показателей снижение отказов технических средств и повышение надежности моторвагонного подвижного состава.

Статистика отказов технических средств за 2024 год:

За 12 месяцев 2024 года в моторвагонном депо событий не допущено, за аналогичный период 2023 года допущено 2 события (в КАСАНТ как отказы технических средств 1-ой категории).

За 12 месяцев 2024 года допущено 5 отказов технических средств 2-ой категории, 1 отказ технических средств 1-ой категории и 1 отказ технических средств 3-й категории, за аналогичный период 2023 года допущено 4 отказа технических средств 2-ой категории, 4 отказа технических средств 1-ой категории и 1 отказ технических средств 3-ей категории.

За 12 месяцев 2024 года в моторвагонном депо:

- 1-ой категории допущен 1 отказ технических средств, за аналогичный период 2023 года допущено 4 отказа технических средств;

- 2-ой категории: допущено 5 отказа технических средств, за аналогичный период 2023 года допущено 4 отказа технических средств;

- 3-ей категории: допущен 1 отказ технических средств, как и за аналогичный период 2023 года.

1) 17 января 2024 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Причиной задержки электропоезда ЭД4М № Х явилась неправильная установка дугогасительной камеры контактора ЛК с последующим выбросом электрической дуги в цепь 22 провода вагона ЭД4М № Х с перегоранием предохранителя провода 22 в блоке ФУС и отключением автомата Q54.

2) 22 мая 2024 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Причиной задержки электропоезда ЭП2Д № Х явилась стал не запуск вспомогательных машин после перезапуска электропоезда по причине глубокой разрядки аккумуляторной батареи вагона ЭП2Д № Х.

3) 9 октября 2024 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Причина: пережог контактного провода – расположения полоза токоприемника на секционном изоляторе в момент остановки электропоезда, который в свою очередь соединял два фидера питающих контактный провод моторвагонного депо и станции У, в следствие чего, из-за разности потенциалов произошел пережог контактного провода

4) 2 ноября 2024 года (отказ 3 категории) допущена задержка поезда.

Причиной задержки электропоезда ЭД4М № Х явился переброс электрической дуги на корпус подвагонного ящика Я427 вследствие пробоя катушки дугогашения контактора ЛК.

5) 5 декабря 2024 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Задержка поезда произошла по причине пробоя якоря тягового электродвигателя вагона ЭД4М № Х и как следствие сбор неполного генераторного режима с погашением энергии на пусковых сопротивлениях.

6) 6 декабря 2024 года (отказ 1 категории) допущена задержка поезда.

Причиной задержки послужило выбивание угольной вставки по станции Иня Южная и неверных действий локомотивной бригады.

7) 23 декабря 2024 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Задержка поезда произошла по причине пережога контактного провода вследствие пробоя обмотки возбуждения якоря 3 ТЭД вагона ЭП2ДМ № Х путем провисания и касания проводов соединяющих обмотку возбуждения якоря о якорь.

За 9 месяцев 2025 года произошли следующие отказы:

За 9 месяцев 2025 года в моторвагонном депо событий не допущено, как и за аналогичный период 2024 года.

За 9 месяцев 2025 года допущено 2 отказа технических средств 2-ой

категории, как и за аналогичный период 2024 года.

За 9 месяцев 2025 года допущено 6 технологических нарушения 1-ой категории, за аналогичный период 2024 года допущено 9 технологических нарушения 1-ой категории.

1. Анализ отказов в работе технических средств.

За 9 месяцев 2024 года в моторвагонном депо:

- 1-ой категории: отказов технических средств не допущено, как и за аналогичный период 2024 года;

- 2-ой категории: допущено 2 отказа технических средств, как и за аналогичный период 2024 года;

- 3-ей категории: отказов технических средств не допущено, как и за аналогичный период 2024 года.

1) 2 июня 2025 года (отказ 2 категории) допущена задержка поезда.

Причиной задержки послужило короткое замыкание контактора ЛК в связи с пробоем изоляционной стойки с последующим срабатыванием быстродействующего выключателя в свою очередь при срабатывании быстродействующего выключателя из-за неисправной катушки дугагашения произошло оплавление главных контактов быстродействующего выключателя и подводящей воздушной трубки с последующим задымлением.

2) 30 июня 2025 года (отказ 2 категории*ВНЕШНИЙ ОТКАЗ) допущена задержка поезда.

Задержка поезда произошла по причине перегорания высоковольтных вставок ПР-1, ПР-3 на вагонах ЭД4М № X и ЭД4МК № X при проходе грозового фронта.

Проведенным анализом видно, что основной причиной возникновения отказов технических средств является пробой контакторов ЛК и БВ высоковольтной электрической аппаратуры.

На основании представленного анализа отказов предлагаются следующие мероприятия по снижению отказов технических средств.

Для снижения отказов высоковольтного оборудования электропоездов, включая линейные контакторы и другие элементы силовой цепи, следует реализовать комплекс технических, организационных и технологических мероприятий. Эти меры направлены на предотвращение износа, своевременное выявление дефектов и повышение надёжности работы оборудования.

В частности, технические мероприятия:

Улучшение материалов и покрытий контактов. Применение серебряных покрытий на главных и дугогасительных контактах может снизить окисление и уменьшить переходное сопротивление на 40–60% [1].

Установка варисторных ограничителей перенапряжений (ОПН). Параллельное подключение ОПН к разрыву контактов помогает ограничить коммутационные перенапряжения, что увеличивает ресурс оборудования.

Замена изношенного оборудования. Своевременная замена трансформаторов, выключателей и изоляторов, выработавших срок службы, на новые модели с повышенной надёжностью.

Использование полимерной изоляции вместо фарфоровой. Полимерные изоляторы более устойчивы к механическим повреждениям и загрязнению, что снижает риск пробоя [1].

Добавление резисторов в силовые цепи. Например, установка резистора с сопротивлением 0,5 Ом в шунтирующей силовой цепи тяговых двигателей может повысить надёжность работы силовой схемы.

Предлагаемые организационные мероприятия:

Планово-предупредительное техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР). Регулярные осмотры, ревизия узлов, замена изношенных деталей согласно утверждённым графикам и инструкциям. Особое внимание следует уделять проверке состояния изоляции, контактов, пневматических систем и дугогасительных камер [2].

Контроль качества ремонта. Внедрение систем контроля качества на всех этапах ремонта — от приёмки материалов до выпуска электропоезда из депо. Это включает проверку соблюдения технологий, стандартов и инструкций.

Обучение персонала. Повышение квалификации работников, занимающихся обслуживанием и ремонтом высоковольтного оборудования. Обучение должно включать современные методы диагностики, работы с измерительным оборудованием и соблюдение техники безопасности [3].

Анализ причин отказов. Систематический сбор и анализ данных о неисправностях для выявления типовых проблем и разработки мер по их устранению. Например, если часто происходит окисление контактов, можно внедрить дополнительные меры по их защите или изменить материалы.

Перспективные технологические решения.

Автоматизированные системы диагностики. Внедрение комплексов для комплексной оценки технического состояния оборудования, включая силовые

цепи, токоприёмники, изоляторы и коммутационную аппаратуру. Такие системы могут имитировать различные режимы работы оборудования, измерять ключевые параметры (напряжение, ток, сопротивление, вибрации) и формировать экспертные заключения.

Неразрушающий контроль. Применение методов цветной, люминесцентной, магнитопорошковой и ультразвуковой диагностики для выявления трещин, усталостных повреждений, включений и других дефектов материалов без разборки оборудования [4].

Мониторинг в режиме реального времени. Установка датчиков для непрерывного контроля температуры, состояния изоляции, параметров тока и напряжения в высоковольтных цепях. Это позволяет оперативно выявлять аномалии и предотвращать аварийные ситуации.

Комплексный подход, сочетающий технические, организационные и технологические меры, позволит значительно снизить количество отказов высоковольтного оборудования и повысить безопасность и надёжность эксплуатации электропоездов [5].

Научный руководитель – Е. А. Третьяков, д.т.н., профессор кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Список литературы

1. Пульт машиниста УПУ электропоезда ЭП2Д / Руководство по эксплуатации. КЖИС.468367.020-61РЭ / АО «ЭЛАРА».
2. Кузнецов, К. В. Система диагностики моторвагонного подвижного состава «Компакс» / К. В. Кузнецов. – Текст : электронный // Локомотив. – 2020. – № 7(763). – С. 10-15 // НЭБ eLIBRARY.
3. Электроподвижной состав: Эксплуатация, надёжность, ремонт: учеб. для студентов вузов / под ред. А. Т. Головатого и П. И. Борцова. – М.: Транспорт, 1983. – 350 с.
4. Худогов А.М., Лыткина Е.М., Дульский Е.Ю. «Инновационная технология повышения надёжности и продления ресурса электрических машин тягового подвижного состава» // Журнал «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование». – 2012. – №12. – С. 12–12.
5. Стоянова Н.В. «Актуальность применения в современных вагонах более надёжных узлов и деталей» // В сборнике «Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения». – 2015. – С. 78–81.

Н. К. Крылов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск,
Российская Федерация

УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ

В статье предлагается подход к повышению энергоэффективности системы тягового электроснабжения и тяги поездов путём разработки алгоритмов совместного управления тяговыми преобразователями на электровозах переменного тока с асинхронными двигателями, работающими в режиме выдачи реактивной мощности и активного фильтра. Это позволит минимизировать потери энергии, стабилизировать напряжение в тяговой сети и повысить коэффициент мощности. Отмечается, что распределенная система повышения качества электроэнергии в тяговой сети с участием электроподвижного состава обладает преимуществом над стационарными компенсаторами реактивной мощности. Описаны перспективы практического использования полученных результатов.

Ключевые слова: электровоз, тяговый преобразователь, коэффициент мощности, активная мощность, асинхронный тяговый двигатель.

В системах электроснабжения железных дорог переменного тока возникают значительные потери электроэнергии из-за наличия реактивной мощности и высших гармоник в тяговой сети, снижается напряжение на токоприемнике электроподвижного состава, что ограничивает провозную и пропускную способность участка. Стационарные компенсаторы реактивной мощности (СТК) обеспечивают стабилизацию напряжения, как правило, в точке подключения и имеют существенную стоимость, ограничивающую их массовое применение. Таким образом, существует необходимость разработки и внедрения новых технических решений для решения указанных проблем. Представленная тематика актуальна для ОАО «РЖД» и предусмотрена к решению в «Энергетической стратегии России до 2050 года» и Комплексной стратегии цифровой трансформации РЖД [1-2].

С целью повышения энергоэффективности работы системы тягового электроснабжения железнодорожного транспорта в настоящее время применяются стационарные компенсаторы мощности, расположенные вдоль

железнодорожного участка и генерирующие или потребляющие из тяговой сети реактивную мощность для выравнивания напряжения в контактной сети по всей длине участка [3].

Также существует ряд исследований и патентов, включающих в себя реализацию использования непосредственно электроподвижного состава в качестве компенсатора реактивной мощности во время его отстоя. Кроме того, существуют исследования, предполагающие реализовать на современных электровозах, таких как 2ЭС11 генерацию активной мощности в сеть [4]. Эти подходы представляют собой эффективное решение, способное существенно повысить коэффициент мощности системы тягового электроснабжения и ЭПС, однако имеют ряд недостатков, связанных с отсутствием алгоритмов координированной выработки реактивной мощности в тяговую сеть между электровозами и стационарными устройствами, выдачи активной мощности электровозом в режиме активного фильтра гармоник. В представленных работах [3, 4] выработка мощности осуществляется локально, в точке подключения, без координации с другими подобными устройствами.

В то же время тяговые преобразователи современных электровозов переменного тока, в частности электровоза 2ЭС11 с четырёхквadrантным (4QS) преобразователем на IGBT-транзисторах, позволяют работать в режиме выдачи реактивной и активной мощности в тяговую сеть в пределах свободной мощности преобразователя [5-6].

Для решения этой проблемы в рамках данного исследования предлагается разработать систему координированного управления тяговыми преобразователями ЭПС переменного тока на базе IGBT – транзисторов с целью генерации реактивной мощности в сеть для поддержания высокого значения $\cos\varphi$ (рисунок 1).

Основной задачей этой системы является генерация реактивной мощности с учётом параметров напряжения системы тягового электроснабжения и состояния, режима работы всех электровозов на участке, что позволит обеспечить максимальную эффективность использования мощности локомотивами, в том числе в режиме рекуперации. Кроме того, возможна реализация работы в режиме активного фильтра для подавления высших гармоник.

Целью исследования является повышение энергоэффективности работы

железнодорожного транспорта за счёт внедрения системы координированного управления тяговыми преобразователями электроподвижного состава и устройствами электроснабжения.

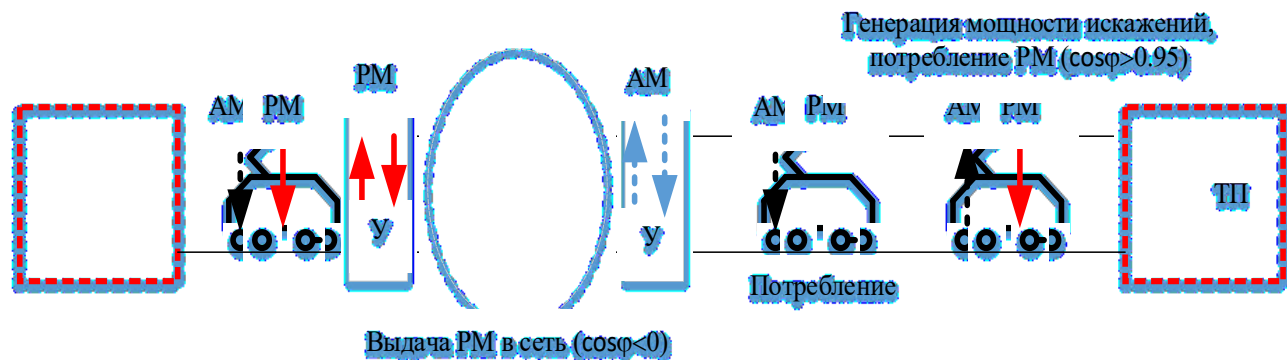


Рисунок 1 – Структурная схема компенсации реактивной мощности в системе тягового электроснабжения с использованием ЭПС:

AM – активная мощность; PM – реактивная мощность; ТП – тяговая подстанция; У – устройство компенсации реактивной мощности, накопитель, регулятор напряжения и т.п.

В рамках данной работы предполагается создать компьютерную модель СТЭ и ЭПС с возможностью управления тяговыми преобразователями на IGBT транзисторах.

В программной среде моделирования Matlab/Simulink разработана модель управления тяговым преобразователем электровоза в режиме тяги (рисунок 2).

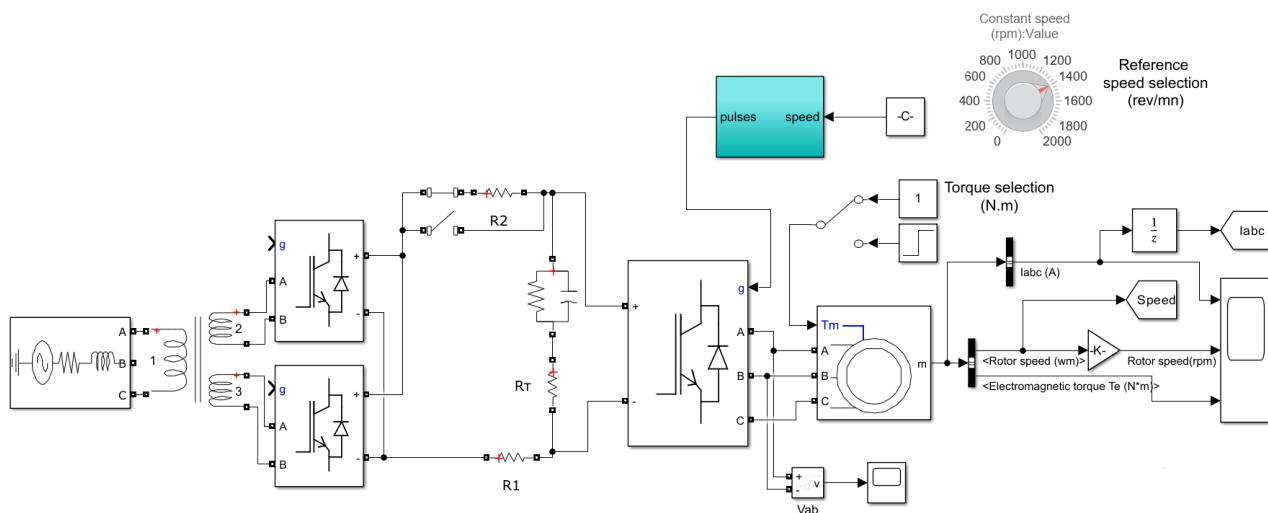


Рисунок 2 – Модель управления тяговым 4qs – преобразователем в режиме тяги

Основой системы является векторное управление асинхронным тяговым двигателем на основе магнитного поля статора (FOC - регулирование) в режиме тяги, адаптированное для режимов выдачи мощности.

Основными элементами векторного управления (рисунок 3) является:

- Определение угла поворота ротора двигателя;
- Определение расчётных токов статора;
- Определение i_d -составляющей тока (потокосцепление);
- Определение i_q -составляющей тока (момент);
- Генерация управляющих импульсов ШИМ для 4QS-преобразователя.

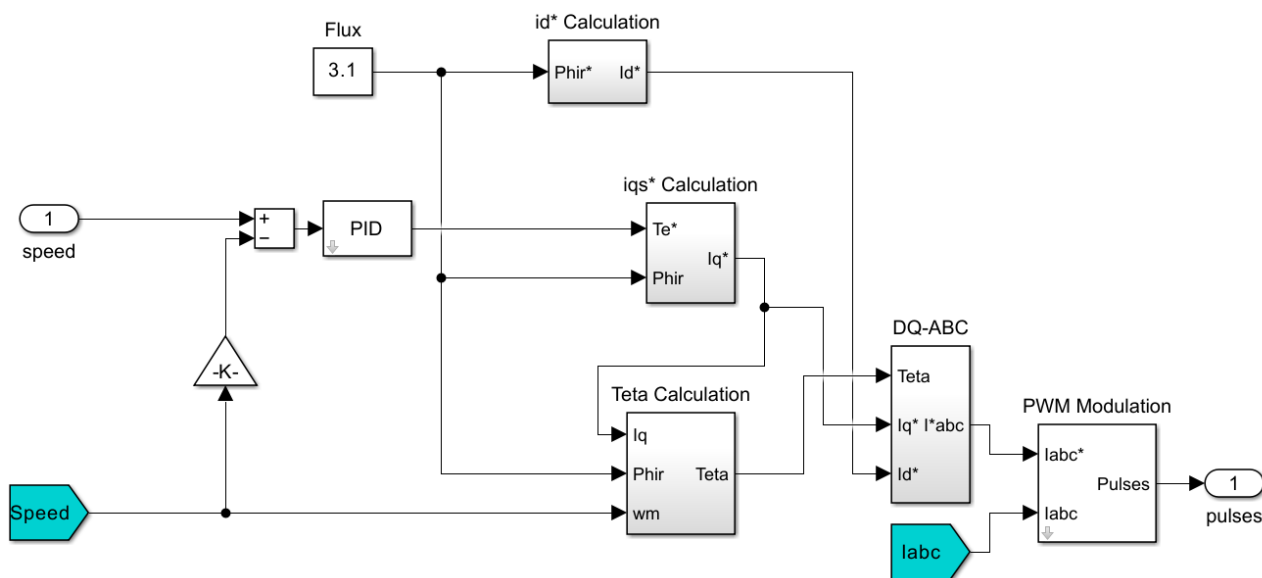


Рисунок 3 – Векторная система управления тяговым двигателем

Результаты моделирования в режиме потребления активной и реактивной мощности представлены на рисунке 4. В процессе разгона асинхронного двигателя активная мощность, плавно возрастает от нуля до максимального значения 820–850 Вт к моменту 1,05 с, что соответствует пику электромагнитного момента, а после выхода на установившуюся скорость резко снижается и стабилизируется на уровне 320–350 Вт; одновременно реактивная мощность монотонно растёт и устанавливается на уровне 550–600 ВАР; коэффициент мощности $\cos\varphi$ после кратковременного провала быстро восстанавливается и удерживается на высоком уровне 0,96–0,98 в течение всего времени моделирования, включая переход к установившемуся режиму.

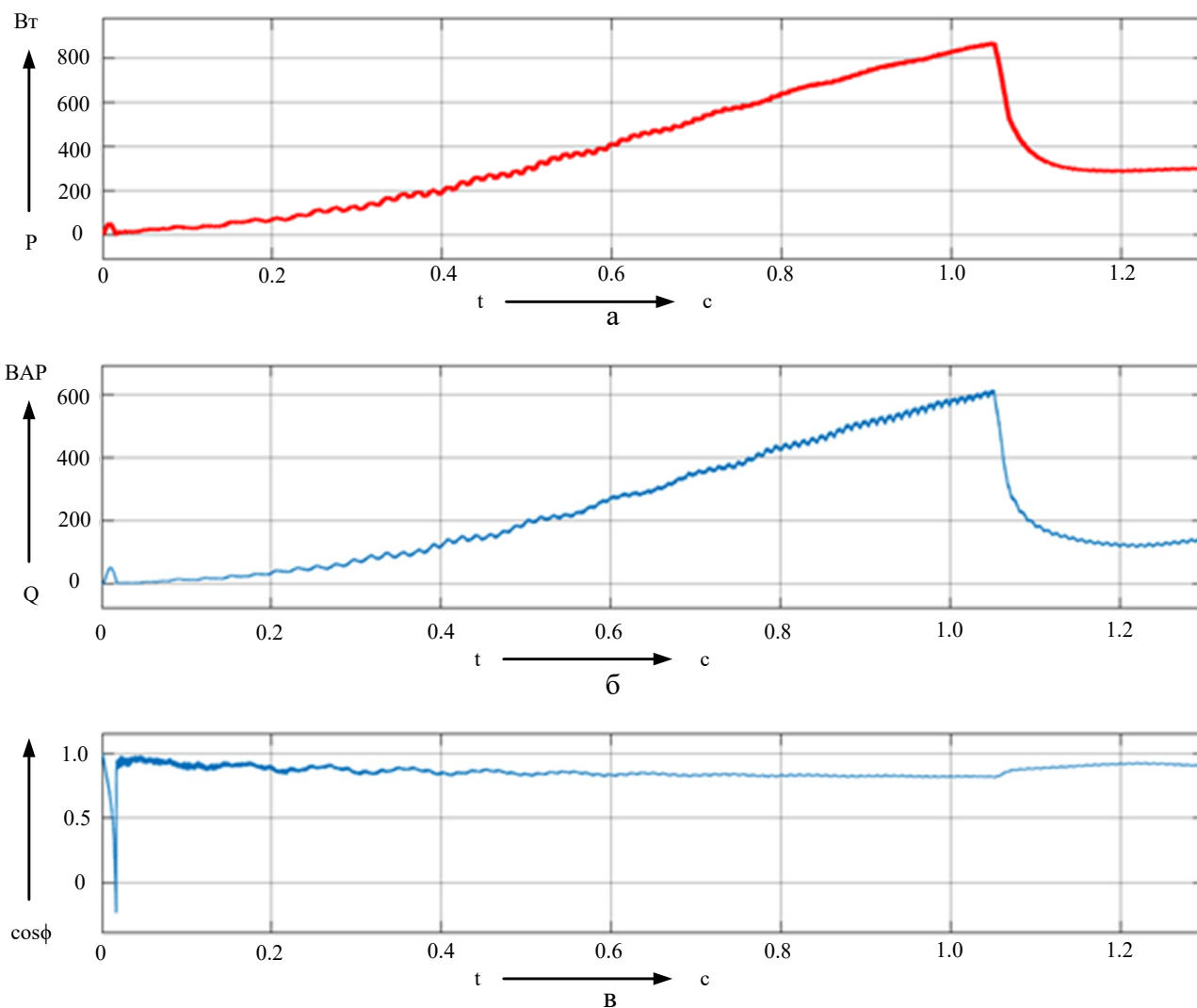


Рисунок 4 – Результаты моделирования системы в режиме потребления активной и реактивной мощности

а – активная мощность (Вт); б – реактивная мощность (ВАР);

в – коэффициент мощности

Результаты моделирования в режиме потребления активной и выдачи реактивной мощности представлены на рисунке 5. Как видно из рисунка, активная мощность P остаётся положительной и после начального пика 850–900 Вт плавно снижается до установившегося значения 120–150 Вт, что соответствует минимальной тяговой нагрузке при поддержании постоянной скорости; одновременно реактивная мощность Q переходит в отрицательную область, быстро достигая уровня –380...–420 ВАР и стабильно удерживаясь на этом значении после 0,8 с; коэффициент мощности $\cos \varphi$ при этом становится отрицательным и устанавливается на уровне –0,96, подтверждая работу преобразователя в режиме опережающего тока, при котором электровоз

выступает как ёмкостной источник, эффективно повышая напряжение в тяговой сети и улучшая общий коэффициент мощности участка.

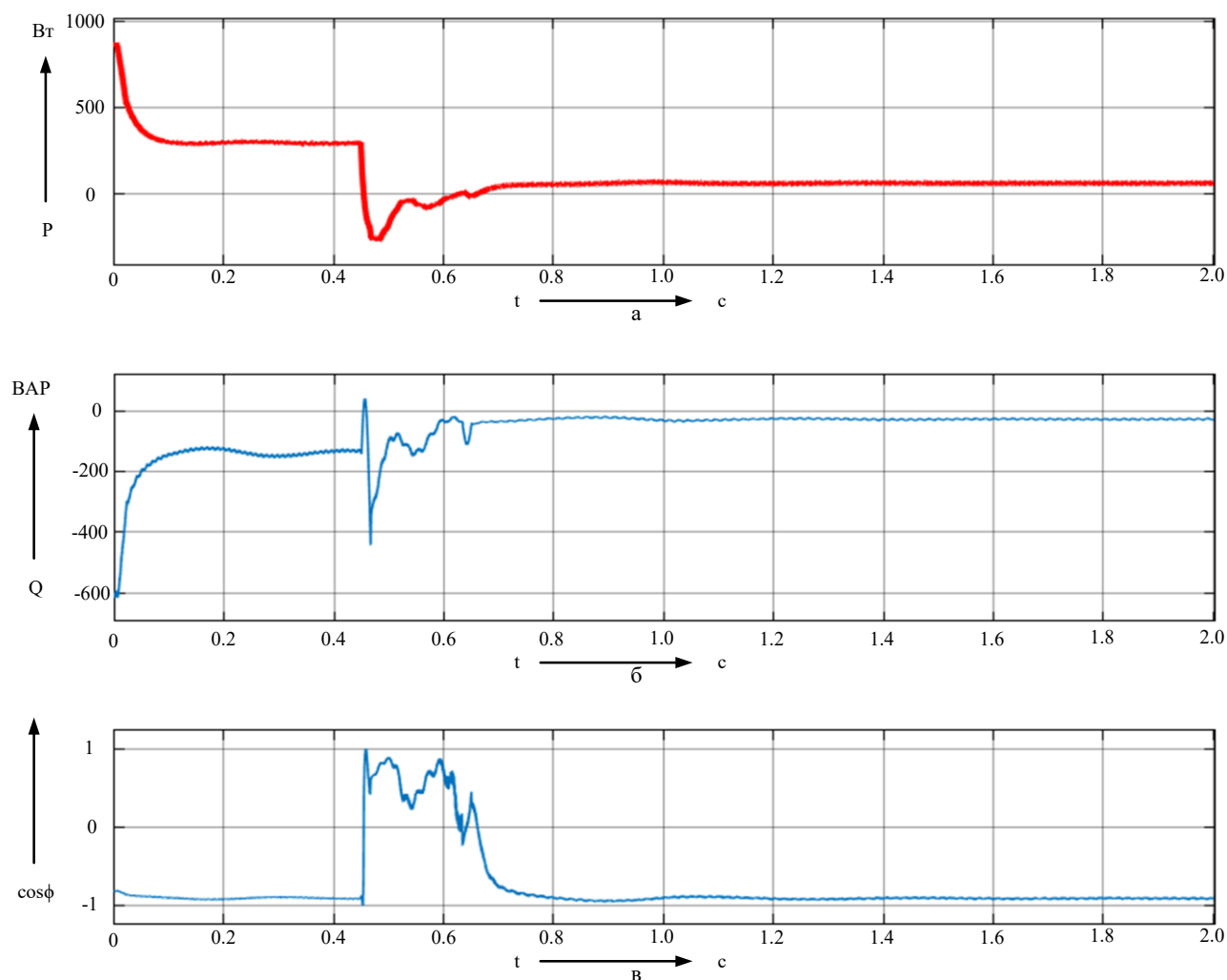


Рисунок 5 – Результаты моделирования системы в режиме потребления активной и генерации реактивной мощности в сеть
а – активная мощность (Вт); б – реактивная мощность (ВАР);
в – коэффициент мощности

Выводы.

Полученные результаты моделирования работы тягового преобразователя свидетельствуют о работоспособности представленной модели. Полученные результаты моделирования находятся в ожидаемых пределах установленной мощности тягового преобразователя, сопоставимы с результатами других авторов, что свидетельствует об их достоверности.

На следующем этапе исследований авторов планируется представить результаты моделирования работы тяговых преобразователей электровозов совместно с системой тягового электроснабжения.

Научный руководитель – Е.А. Третьяков, д.т.н., профессор кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Список литературы

1. Косарев, А.Б. Электромагнитные процессы в системах электроснабжения железных дорог переменного тока / А.Б. Косарев, Б.И. Косарев, Д.В. Сербиненко. – М.: ВМГ-Принт, 2015. – 349 с.
2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года: утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 12.04.2025 № 908 -р. – Москва, 2025. – 107 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/d6a/Energostrategiya-RF-do-2050-goda.pdf> (дата обращения: 9.02.2026).
3. Кошелев, К. С. Выбор параметров статического компенсатора реактивной мощности СТАТКОМ / К. С. Кошелев, М. В. Пешков // Электротехника. – 2008. – № 7. – С. 34–37.
4. Глызин, И. И. Способ управления режимами тяги, выбега и горячего отстоя железнодорожного электроподвижного состава с входным однофазным широтно-импульсным преобразователем напряжения на его стоянке: пат. 2729500 Рос. Федерация: МПК В60L 9/08, В60L 5/36 / И. И. Глызин, В. А. Кучумов, Р. В. Мурзин, О. Н. Назаров, М. В. Худорожко; патентообладатель АО "Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта". – № 2019112147 ; заявл. 22.04.2019 ; опубл. 07.08.2020, Бюл. № 22. – 7 с.
5. Петров, А. А. Методы и средства повышения качества электроэнергии в системе метрополитена: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, направление 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы / Петров Андрей Александрович; Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). – Новосибирск, 2019. – 162 с.
6. Яговкин, Д.А. Совершенствование выпрямитель-инверторного преобразователя электровоза переменного тока и принципа его управления в режиме тяги [Текст].: Дисс. на соискание ученой степени кандидата техн. наук: 05.22.07 /Яговкин Дмитрий Андреевич. – Иркутск., 2016. – 178 с.

В. В. Маслов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

МЕТОДЫ КОРРЕЛЯЦИОННО - РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА РАСХОД ТЭР.

В материалах статьи рассмотрены вопросы применения методов корреляционного анализа при планировании, реализации и оценке эффективности ресурсосберегающих мероприятий. Выполнен анализ статистических данных по серии локомотивов 145-2ЭС6 на участке обслуживания Ишим – Войновка и др. В ходе проделанной работы сделан вывод, что применение линейного коэффициента Пирсона допустимо для выявления факторов, влияющих на потребление ТЭР, но полученные уравнения регрессии не могут быть использованы для интеграции в платформы машинного обучения, предложена реализации метода Шепли.

Ключевые слова: ресурсосбережение, методы оценки энергосбережения, верификация энергоэффективности, коэффициент Пирсона, метод Шепли.

Введение. В условиях роста цен на энергоресурсы особую актуальность приобретает задача оптимизации потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) за счёт внедрения ресурсосберегающих мероприятий, особенно на железнодорожном транспорте, т.к. данный вид транспорта по итогам 2024 года обеспечил более 45,26% грузооборота в млрд. тонно-км., больший процент только у трубопроводного транспорта - 45,38% [8].

Изучение возможности применения разных методов корреляционно - регрессионного анализа позволит реализовать первостепенную цель исследования: построить математически обоснованную модель, для прогнозирования экономии энергетических ресурсов в зависимости от изменения технических характеристик и внешних факторов, необходимую для принятия обоснованных решений при разработке программ внедрения ресурсосберегающих мероприятий для достижения целей экологической, энергетической и транспортной стратегий Российской Федерации и внутренних стратегий ОАО «РЖД».

В условиях роста тарифов на энергоресурсы и введении экологических требований к производственному сектору в том числе перед железнодорожными компаниями появляется острая необходимость решения задачи оптимизации ресурсопотребления. Проблемой в данном случае, требующей решения является отсутствие объективной и всесторонней оценки эффективности отдельных ресурсосберегающих мероприятий в условиях их взаимовлияния и синергетических эффектов. Решением выступает разработка математической модели, на основе аддитивного объяснения значений Шепли, включающей набор наиболее влияющих факторов на объём потребляемых ТЭР.

Методы корреляционно - регрессионного анализа при планировании и реализации ресурсосберегающих мероприятия на железнодорожном транспорте. Одним из наиболее популярных и простых в реализации методов корреляционного и регрессионного анализа является расчёт коэффициента корреляции Пирсона. Данный коэффициент показывает силу и направление линейной связи между двумя переменными. Наиболее автоматизированный способ расчёта данного коэффициента - это применение заложенных в программе Excel функций =PEARSON, =CORREL и их эквивалентов. Для подробной визуализации процесса расчёта коэффициента, представим процесс с описанием формул.

Полученные результаты планируется использовать для выявления факторов, наиболее влияющих на объём потребления ТЭР, т.к. разные методы оценки эффективности внедрения ресурсосберегающих мероприятий в производственных процессах предполагают применение ряда корректировок, с учётом статистически значимых факторов [5]. Формирование выборки производственных и климатических факторов за отчётный период один из важных этапов, представленных в алгоритме оценки энергетической эффективности, ресурсосберегающих ОТМ, внедряемых на железнодорожном транспорте представленного в статье Комякова А.А. [3].

Пример 1. Расчёт коэффициента линейной корреляции между массой состава и удельным расходом ТЭР выраженном в кВт*ч/10 тыс. ткм.

Для расчёта сформирована выборка данных по серии локомотивов 145-2ЭС6 на участке обслуживания Ишим – Войновка.

Объём статистической совокупности (n) составляет 16953 пары зависимых показателей. Среднее значение параметров x и y, рассчитано согласно формулам

1 и 2.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (2)$$

Для расчёта коэффициента ковариации применяется формула 3.

$$\text{cov}(x; y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (3)$$

Среднеквадратическое отклонение – характеризующее среднюю степень разброса значений относительно математического ожидания рассчитывается по формуле 4 и 5.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (5)$$

Для расчёта коэффициент линейной корреляции при наличии полученных выше показателей рассчитывается формула 6 [2].

$$r = \frac{\text{cov}(X; Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения регрессии а и b рассчитываются по формулам 7 и 8.

$$a = \frac{r \cdot \sigma_y}{\sigma_x} \quad (7)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (8)$$

Результаты проведённых расчётов представлены на рисунке 1.

Полученный коэффициент линейной корреляции Пирсона $r = -0,4926$, согласно шкале Чеддока, которую применяют для оценки тесноты корреляционной связи [4], свидетельствует об умеренной отрицательной линейной связи между рассматриваемыми переменными.

Объём статистической совокупности (n)	16953		
Средние значения:	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	
	4628,48	67,83092	
Коэффициент ковариации:			
$cov(x; y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}$	-41989,70		
Ср. кв. отклонение	$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$	$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}$	
	2108,421805	40,4277	
Коэффициент линейной корреляции	$r = \frac{cov(X; Y)}{\sigma_x \sigma_y}$	Коэффициенты уравнения регрессии:	
	-0,49261339	$y = ax + b$	
		$a = \frac{r \cdot \sigma_y}{\sigma_x}$	-0,0094
Коэффициент детерминации	$R = r^2$	$b = \bar{y} - a\bar{x}$	111,5495
	0,24266796		

Рисунок 1 – Результаты линейного корреляционного анализа

На рисунке 2 представлена диаграмма рассеяния, полученный результат указывает на необходимость учёта дополнительных факторов влияющих на расход ТЭР, а также на возможную нелинейную связь между переменными.

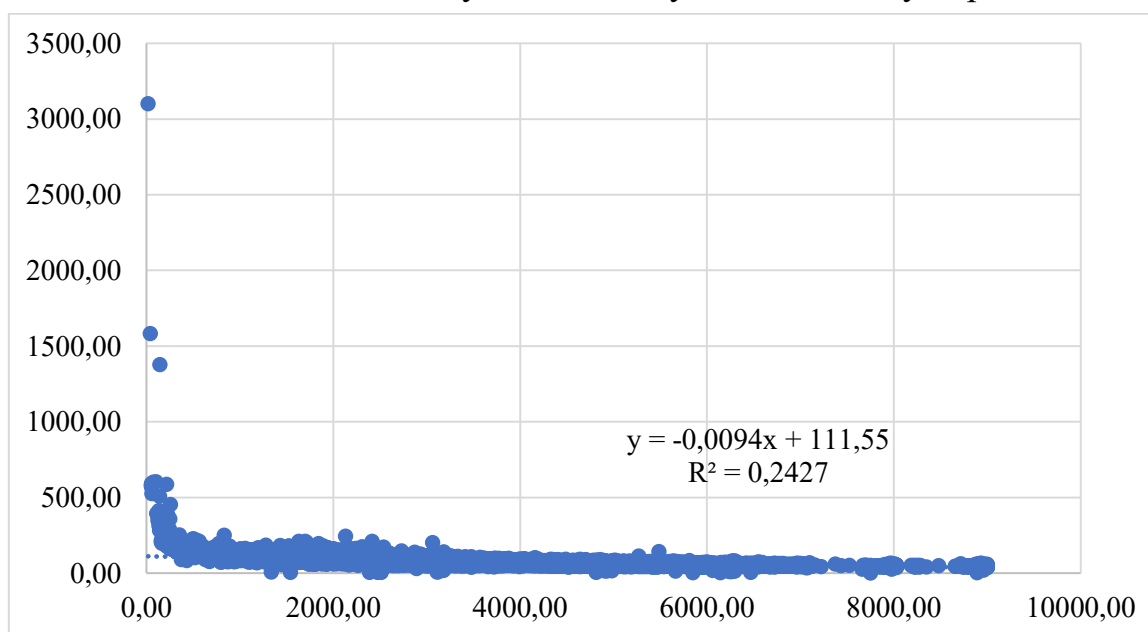


Рисунок 2 – Диаграмма рассеяния

Учитывая, большом объём данных выборки ($n > 16953$), представим

расчёты, касаемо статистической значимости полученных результатов.

Стандартная ошибка коэффициента корреляции:

$$SEr = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \approx 0,00668$$

t-статистика:

$$t=r / SEr \approx -0,4926 / 0,00668 \approx -73,74$$

Критическое значение t для $\alpha=0,01$ и $df \approx 16953$ составляет $\pm 2,576$,

$$|t| \approx 73,74 \gg 2,576$$

Полученный результат указывает на то, что полученный коэффициент корреляции статистически значим на уровне $\alpha=0,05$ и на уровне $\alpha=0,001$.

Нулевая гипотеза ($H_0:r=0$) отвергается с высокой степенью уверенности.

Коэффициент линейной корреляции равный $-0,4926$, имея отрицательный знак указывает на обратную зависимость:

- с увеличением средней массы поезда потребляемая энергия в среднем снижается;

- с уменьшением массы поезда потребляемая энергия в среднем растёт.

Ситуация с отрицательным коэффициентом при выбранных показателях X и Y может иметь следующее объяснение:

1. Режим движения: лёгкие поезда могут чаще разгоняться/тормозить, что повышает удельный расход энергии;

2. Полногрузные поезда движутся по графику с оптимальными скоростями, а порожние - с частыми остановками;

Аналогичный расчёт проведён для других факторов, участков и локомотивов: для серии локомотивов 116-3ЭС6 ($n = 184$; $r = -0,64$), для серии локомотивов 116-3ЭС6 (фактор: ср. t воздуха): $n = 184$, $r = -0,55$ (требует дополнительной проверки).

Несмотря на значимость выборки, для моделирования при реализации метода D описанного в ГОСТ Р 56743-2015 расчёт исключительно данного коэффициента не целесообразен, т.к. масса поезда – всего один из многочисленных факторов, влияющих на энергопотребление, соответственно полученные результаты требуют дальнейшей проработки и расчёта многофакторной корреляции и применение метода Шепли, т.к. на размер потребляемой энергии влияют и другие факторы, например, средняя скорость, погодные условия и т.д.

Применения адаптированного метода Шепли для железнодорожной

отрасли в контексте исследуемого направления позволит:

Количественно оценить вклад разных эксплуатационных факторов в эффект, полученный от конкретного ресурсосберегающего мероприятия и оценить влияние каждого ресурсосберегающего мероприятия на общую экономию;

Учесть эффекты взаимодействия между мероприятиями;

Повысить точность принятия решений, касаясь инвестиций в ресурсосбережение, обосновать приоритеты инвестирования в ресурсосбережение.

Заключение. В материалах статьи представлена информация, касающаяся проработки задач формирования модели для верификации энергетической эффективности с точки зрения возможности их применения при оценке эффекта от мероприятий, реализуемых в ОАО «РЖД». В ходе проделанной работы обоснована необходимость перехода от фрагментарных оценок к системной математической модели. Это подтверждается выявленными ограничениями традиционных методов корреляционного анализа. Корреляционный анализ (например, коэффициент Пирсона) выявляет лишь парные связи (пример с массой поезда и расходом ТЭР: $r = -0,4926$), но не позволяет моделировать многофакторные зависимости. Полученные уравнения регрессии не могут быть использованы для интеграции в платформы машинного обучения, в качестве решения выбран путь адаптации метода Шепли.

Список литературы

1. ГОСТ Р 56743-2015. Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов = Measurement and verification of energy efficiency. General provisions for the determination of energy savings: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. N 1929-ст: введен впервые: дата введения: 2017-01-01 / подготовлен Ассоциацией энергосервисных компаний "РАЭСКО", Автономной некоммерческой организацией в области технического регулирования и аккредитации "ВНИИНМАШ". - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127498?ysclid=Isoau1ldma973082806> (дата обращения 15.12.2025) – Текст: электронный.

2. Кистанов, А. М. Автоматизированная система корреляционного анализа цен на строительные материалы / А. М. Кистанов, В. А. Елин, Е. А. Еремина // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 80-ой Юбилейной всероссийской научно-технической конференции, Самара, 17–22 апреля 2023 года / Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2023. – С. 874-883. – EDN GWPLFJ.
3. Комяков, А. А. Разработка методов оценки эффективности мероприятий по организации ресурсосберегающих производственных систем железнодорожного транспорта / А. А. Комяков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(78). – С. 45-53. – EDN PPSPII.
4. Максимова, О. В. Об ошибках обращения с коэффициентом корреляции Пирсона / О. В. Максимова // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. – 2024. – Т. 35, № 3-4. – С. 88-102. – DOI 10.24412/2782-3237-2024-3-4-88-102. – EDN CQZNHW.
5. Маслов, В. В. Виды ресурсосберегающих мероприятий и методы оценки эффективности их внедрения в производственных процессах транспортных предприятий / В. В. Маслов, А. А. Комяков // Молодая наука Сибири. – 2024. – № 1(23). – С. 50-62. – EDN ALDJTB.
6. Отчеты об устойчивом развитии ОАО «РЖД» за 2014 – 2024г. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9386/page/103290?id=17643&ysclid=m8x4qfts1736131260> (дата обращения: 04.11.2025) – Текст: электронный.
7. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года – URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> – Текст: электронный.
8. Федеральная служба государственной статистики / Транспорт – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 20.12.2025) – Текст: электронный.

А. В. Вербицкий

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС6 С ПНЕВМООБДУВОЧНОЙ МАШИНОЙ ПОМ-1М

В материалах статьи рассмотрен способ модернизации электровоза 2ЭС6 для работы в сцепе с пневмообдувочной машиной ПОМ-1М. Приведена имитационная модель электрической части электровоза и пневмообдувочной машины, представлены графики зависимостей основных параметров.

Ключевые слова: электровоз, модернизация, пневмообдувочная машина.

В числе ключевых научных приоритетов ОАО «РЖД» – разработка энергосберегающих технологий и рост энергоэффективности железнодорожного транспорта [1]. Среди практических задач особое значение имеет оптимизация маневровых работ, включая очистку путей от снега.

Тепловозы потребляют значительное количество дизельного топлива. В зимний период на работах с ПОМ-1М это приводит к расходу до 20–30% топлива парка маневровых тепловозов именно на такие операции. Электровозы питаются от контактной сети, что исключает высокие топливные затраты и снижает себестоимость работ.

Переход от системы «тепловоз-ПОМ-1М-тепловоз» к «электровоз-ПОМ-1М» позволяет оптимизировать парк локомотивов (рисунок 1). При данном переходе сокращается количество локомотивных бригад на выполнение работ и время на маневры. В настоящее время в сцепе с ПОМ-1М работают электровозы постоянного тока ВЛ10, переменного тока ВЛ60. В связи со старением парка электровозов ВЛ10 и их заменой на электровозы 2ЭС6 возникает необходимость изменения силовой схемы, вспомогательных цепей и цепей управления 2ЭС6 для применения в хозяйственном движении.



Рисунок 1 – Схема формирования рабочего поезда «электровоз-ПОМ-1М»

Целью данного исследования является разработка схемы подключения и моделирование силовой схемы электровоза 2ЭС6 дополненной инженерными решениями по подключению пневмообдувочной машины ПОМ-1М и приведении ее в рабочий режим.

На рисунке 2 представлен фрагмент электрической схемы по подключению привода пневмообдувочной машины к пусковым реостатам электровоза, для обеспечения плавного разгона вентиляторов снегоуборочной машины.

Для реализации подключения ПОМ-1М предполагается задействовать следующие элементы (без учета кабелей):

1. Три дополнительных контактора ПК-32А ЭТ КР1, КР2, КР3 в первой секции локомотива;
2. Датчики: датчик напряжения ПНКВ-1-1А, мегаомметр МГМ-1, датчик напряжения ПНКВ-2;
3. Два шунта 75ШСМ-1500А-0,5 ГОСТ 8042-93;
4. Отключатель ОД-005 ЭТ – для переключателя кабин.

Схема предполагает запуск электровоза с пневмообдувочной машиной и выход на безреостатную ходовую позицию С-соединения двигателей.

На электровозе 2ЭС6 для тягового привода колесных пар устанавливается электрический двигатель постоянного тока 810-ой серии, для моделирования привода вентиляторов ВМ-18 пневмообдувочной машины будут использоваться такие же электродвигатели [3]. Основные паспортные данные ТЭД сведены в таблицу 1 [4].

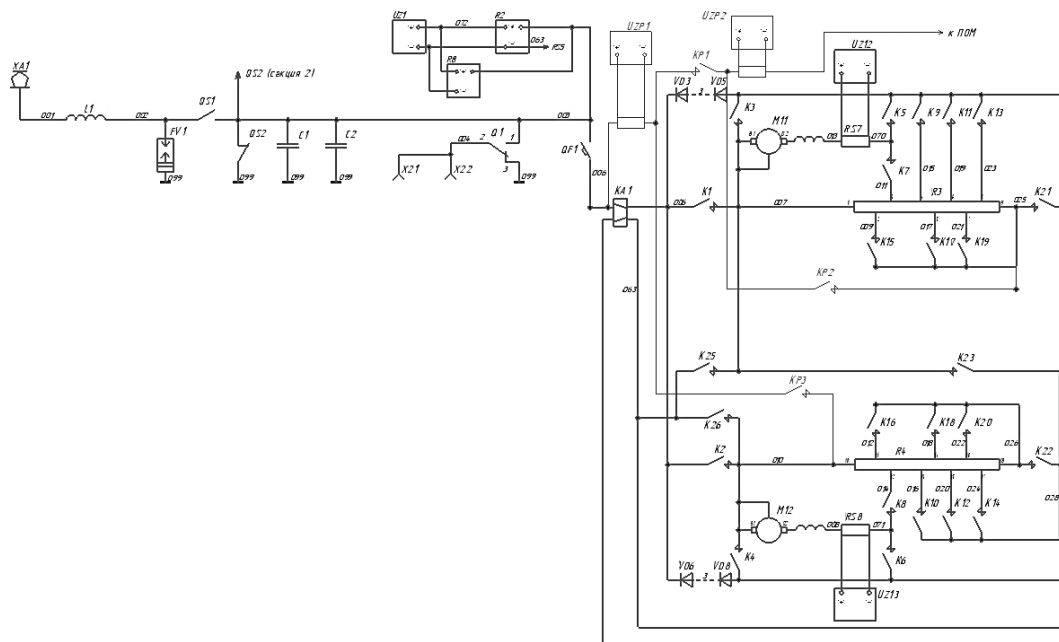


Рисунок 2 – Фрагмент модернизированной электрической схемы подключения ПОМ-1М к пусковым реостатам 2ЭС6

Таблица 1

Основные паспортные данные тягового электродвигателя ЭДП810

Величи на	P_H , кВт	n_H , об/мин	η_H , %	I_a , А	$M_{НОМ}$, Н·м	I_B , А
Значен ие	81 0	75 0	0,9 31	58 0	103 00	54 0

Расчет параметров для блока DC Machine для имитационного моделирования проводился по методике, представленной в руководстве [2]. Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Подключение пневмообвудочной машины предполагается производить к пусковым резисторам электровоза.

Схема имитационной модели работы электровоза с ПОМ-1М, выполненная в программной среде MatLab Simulink представлена на рисунке 2. Данная модель предполагает моделирование процесса запуска привода вентиляторов ПОМ-1М с дальнейшим переходом на приведение тягового локомотива в движение. На схеме представлены 8 двигателей ЭДП810 электровоза и 2 двигателя ЭДП810 снегоуборочной машины, которые запускаются через пусковые реостаты. Питание обмоток возбуждения производится через блок Function с обратной связью по току якоря. Контроль параметров производится по осциллографам блока Scope, которые на схеме не

показаны.

Таблица 2

Параметры тягового электродвигателя ЭДП810

Параметр	Значение
Активное сопротивление обмотки возбуждения R_f , Ом	0,0172
Индуктивность обмотки возбуждения L_f , Гн	0,0093
Активное сопротивление обмотки якоря R_a , Ом	0,0693
Индуктивность обмотки якоря L_a , Гн	0,0027
Взаимная индуктивность, Гн	0,033
Момент инерции двигателя J , кг·м ²	119
Коэффициент вязкого трения B_m , Н·м·с	0,658
Величина момента сухого трения T_f , Н·м	51,7
Начальная угловая частота вращения вала двигателя, рад/с	1

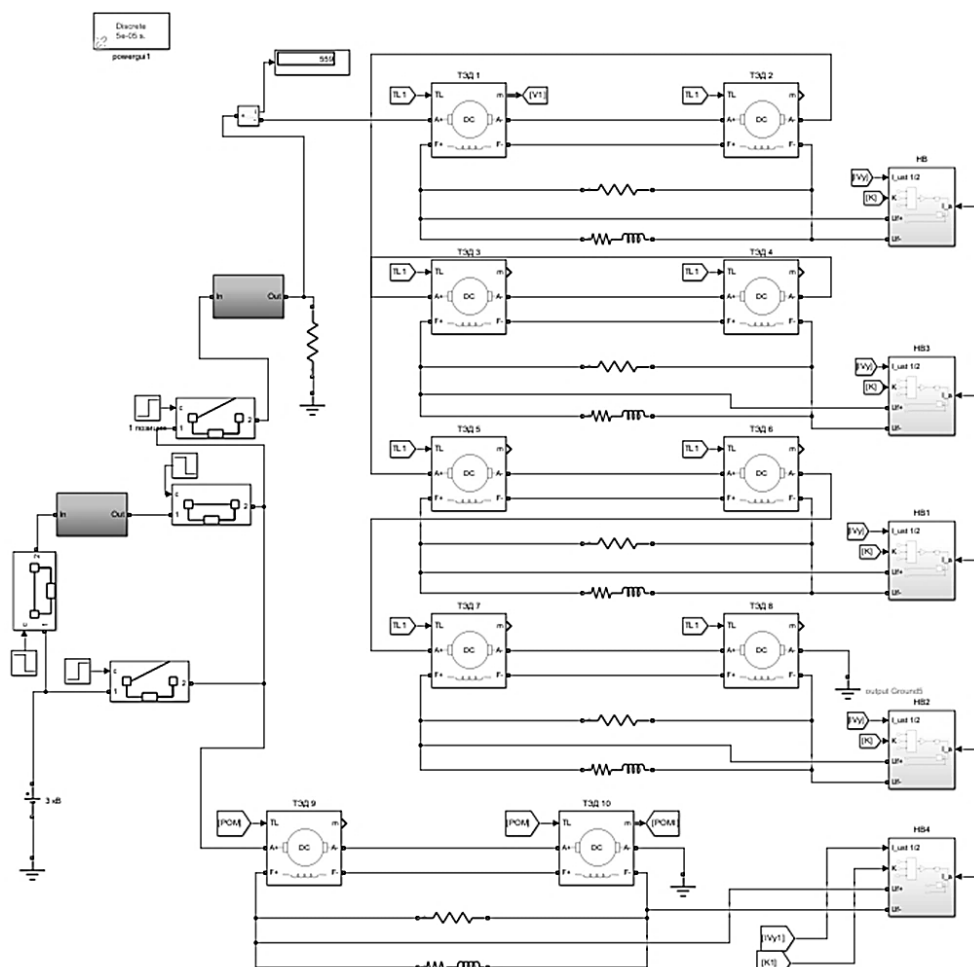


Рисунок 3 – Имитационная модель привода электровоза 2ЭС6 с приводом пневмообдувочной машины ПОМ-1М

Результатом имитационного моделирования являются полученные зависимости частоты вращения, тока якоря и мощности электрических двигателей от общего времени моделирования, что позволяет оценить работоспособность выполненной схемы моделирования на основании паспортных данных электрических двигателей.

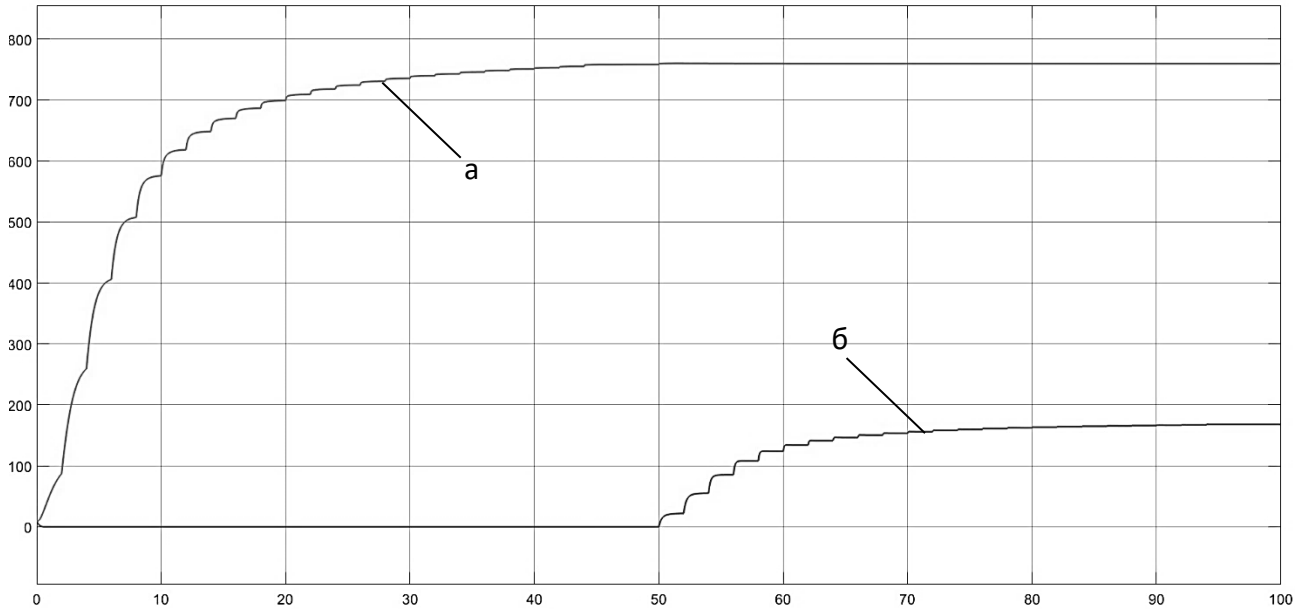


Рисунок 4 – Зависимость частоты вращения вала ЭД от времени моделирования
а) ЭД ПОМ-1М; б) ТЭД 2ЭС6

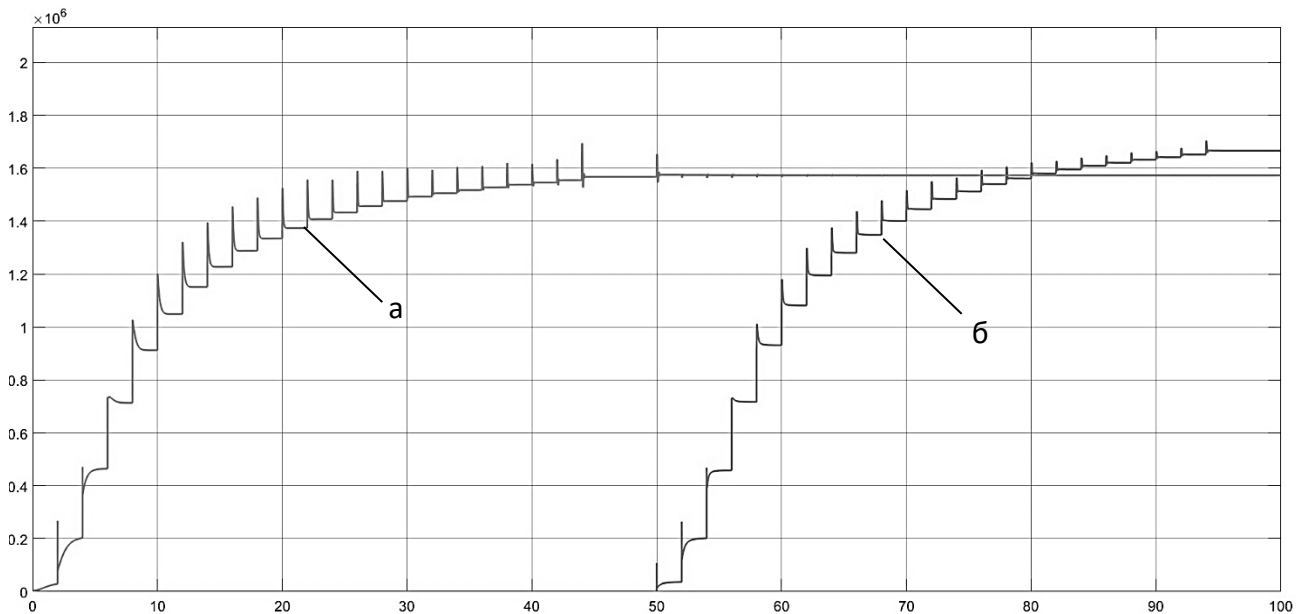


Рисунок 5 – Зависимость мощности ЭД от времени моделирования
а) ЭД ПОМ-1М; б) ТЭД 2ЭС6

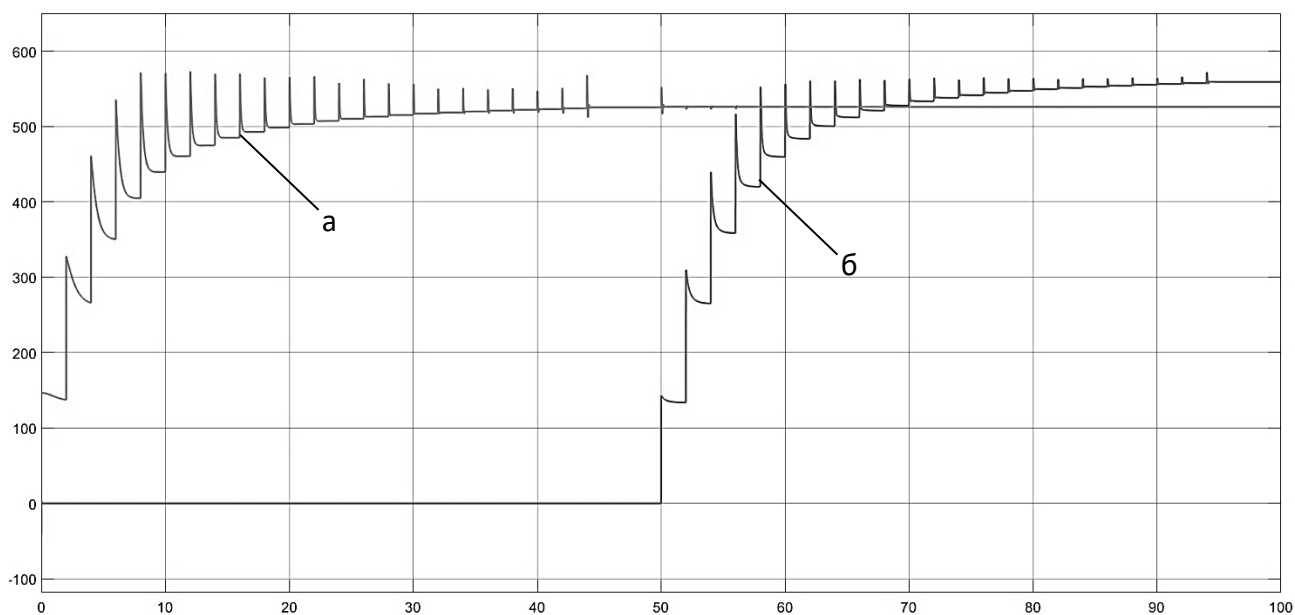


Рисунок 6 – Зависимость тока якоря ЭД от времени моделирования
 а) ЭД ПОМ-1М; б) ТЭД 2ЭС6

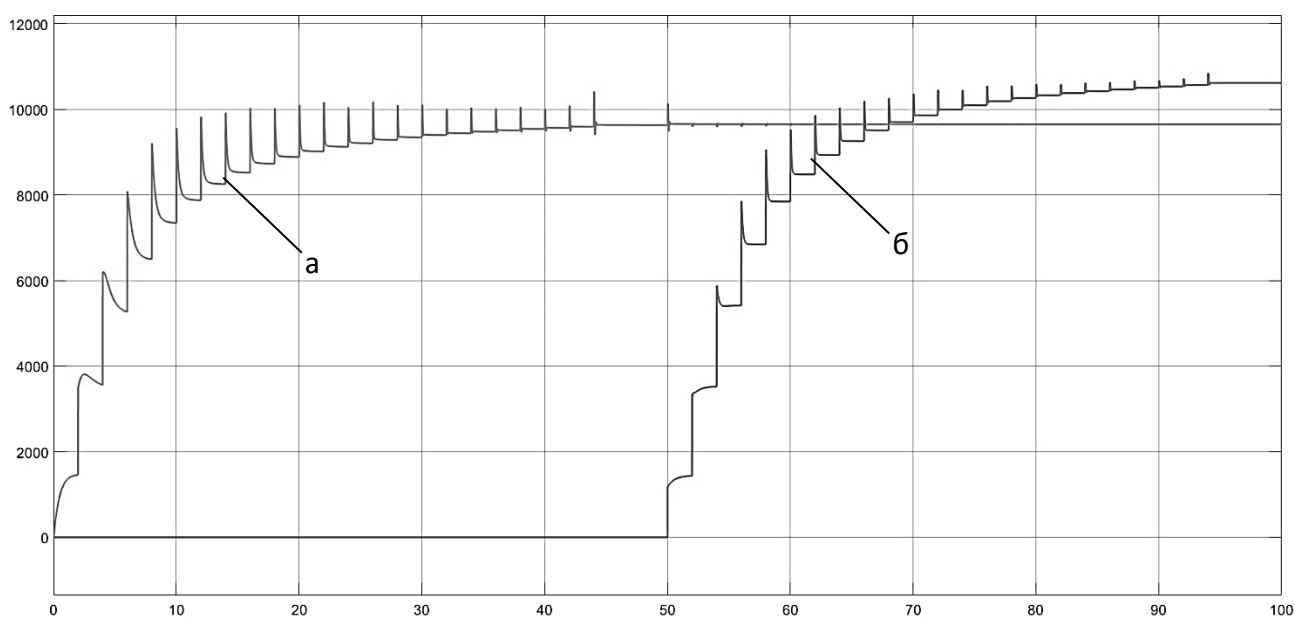


Рисунок 7 – Зависимость крутящего момента ЭД от времени моделирования
 а) ЭД ПОМ-1М; б) ТЭД 2ЭС6

В заключении проведенного исследования, можно выделить следующее:

- необходима разработка блока управления ПОМ-1М, который в свою очередь обеспечит плавное регулирование напряжения на двигателях и разработку систем защит от опасных режимов, возникающих при эксплуатации электрооборудования;

- модернизация силовой цепи и цепей управления статического преобразователя СТПР1000 для независимого питания обмоток возбуждения ТЭД пневмообдувочной машины.

Научный руководитель – Е.А. Третьяков, д.т.н., профессор кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. : [утв. распоряжением Правительства Российской Федерации 17 июня 2008 г. № 877-р]. Москва : Транспорт, 2008. 171 с.

2. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink : практическое руководство / И. В. Черных ; под ред. Д. А. Мовчак. – Москва : ДМК Пресс ; СПб : Питер, 2008. – 288 с.

3. Машина пневмоочистительная ПОМ-1. Руководство по эксплуатации / ЦП ОАО «РЖД». М., 2004. 15 с. – Текст : непосредственный.

4. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми двигателями : руководство по эксплуатации. – Верхняя Пышма : Уральский завод железнодорожного машиностроения, 2008. – Т.1. – 166 с.

Е. И. Минжасов, Д. И. Попов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В данной статье поставлена задача разработки основных принципов проектирования систем испытания асинхронных двигателей (АД). Представлены основные принципы проектирования систем испытания АД. На основе разработанных принципов, используются схемы взаимной нагрузки асинхронных двигателей. Реализована имитационная модель системы испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Разработан способ нагружения асинхронных двигателей.

Ключевые слова: асинхронная машина, взаимная нагрузка, имитационная модель, способ нагружения, система испытания.

В настоящее время происходит широкое внедрение асинхронных двигателей в различных областях техники, что создает потребность в развитии систем их технического обслуживания на всех этапах жизненного цикла [1, 2]. Важнейшей частью технического обслуживания асинхронных двигателей являются ремонт и последующие испытания. Таким образом, распространение асинхронных двигателей требует одновременного развития и внедрения соответствующих систем испытания.

Проектирование систем испытания асинхронных двигателей строится на нескольких основных принципах, таких как принцип структурного построения, методический принцип, принцип энергоэффективности систем испытания асинхронных двигателей и принцип систематизации и регламентации. Каждый из принципов направлен на повышение точности и эффективности испытаний.

Принцип структурного построения основывается на выборе схемы испытания асинхронных двигателей, обеспечивающий функционирование испытуемых двигателей и достоверность получаемых результатов. Исходя из этого были выбраны схемы взаимной нагрузки асинхронных машин (АМ), представленные на рисунке 1 [3, 4].

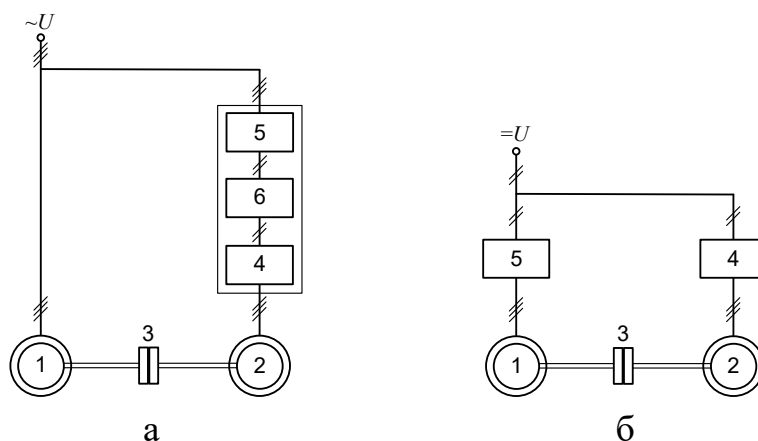


Рисунок 1 – Схемы взаимной нагрузки асинхронных двигателей:

а – обмен электроэнергией осуществляется по сети переменного тока;

б – обмен электроэнергией осуществляется по ЗПТ

Приведенные схемы (рис. 1) имеют общие элементы АД 1, нагрузочная АМ 2, муфта 3 и управляемый выпрямитель-инвертор 4. Элементы не являющиеся общими: в зависимости от выбранной схемы 5 – неуправляемый выпрямитель (рис. 1, а) или управляемый выпрямитель-инвертор (рис. 1 а, б), 6 – звено постоянного тока.

Данные схемы имеют общий фрагмент, представленный на рисунке 2.

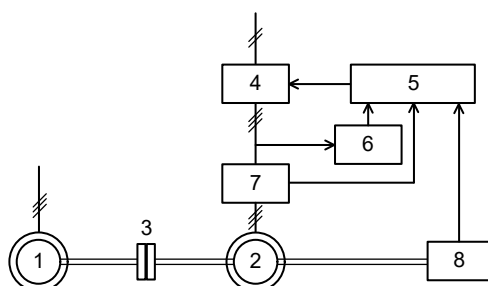


Рисунок 2 – Общий фрагмент схем испытания АМ

Фрагмент схем взаимной нагрузки (рис. 2) имеет обозначения элементов 1-4 соответствующих обозначениям рисунка 1. Данный фрагмент дополнен следующими элементами: системой управления 5, вычислителем частоты напряжения 6, датчиком частоты вращения 7 и электрическим датчиком 8.

Методический принцип включает в себя имитационное моделирование, что позволяет создать виртуальный аналог реального объекта и условия эксплуатации. Основываясь на данном принципе, разработана схема испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки в среде динамического моделирования *SimInTech*, представленная на рисунке 3 [5].

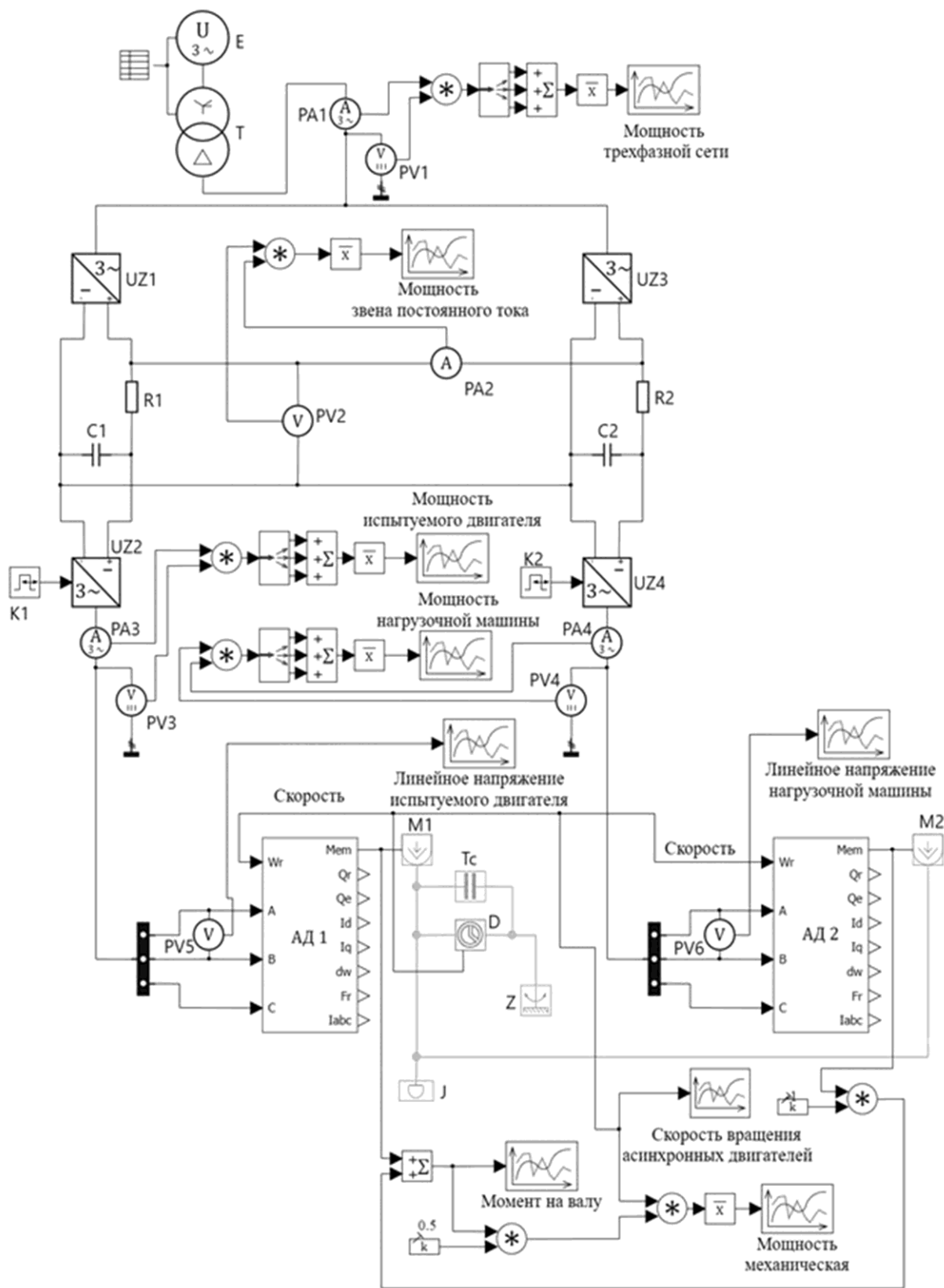


Рисунок 3 – Блок-схема имитационной модели системы испытания АМ в среде динамического моделирования SimInTech

Имитационная модель системы испытания асинхронных машин методом взаимной нагрузки, реализованная в среде динамического моделирования *SimInTech*, включает в себя испытуемый асинхронный двигатель АД1 и нагрузочную асинхронную машину АД2. Оба двигателя питаются от преобразователя частоты (ПЧ). Питание самих ПЧ обеспечивается от трансформатора T , соединенного с сетью E . ПЧ состоят из выпрямителей $UZ1$ и $UZ3$ и управляемых выпрямителей-инверторов $UZ2$ и $UZ4$. В ЗПТ каждого ПЧ установлены сглаживающие конденсаторные емкости $C1$ и $C2$. Механическая часть модели характеризуется жестким соединением валов обоих асинхронных двигателей. Помимо механической связи валов, механическая часть состоит из следующих элементов: блока, задающего момент инерции J , датчика вращательного движения D , блока, задающего трение T_c и заделки Z . Соединительные элементы $M1$ и $M2$, предназначены для связи валов асинхронных двигателей с остальными элементами механической части.

К принципу энергоэффективности системы испытания асинхронных двигателей относится разработка способа нагружения асинхронных двигателей, что должно обеспечивать режим работы системы с минимальными потерями электрической энергии. Придерживаясь данного принципа, был разработан способ нагружения асинхронных двигателей при их испытании методом взаимной нагрузки. На рисунке 4 представлена блок-схема алгоритма, реализующего предлагаемый способ нагружения асинхронных двигателей.

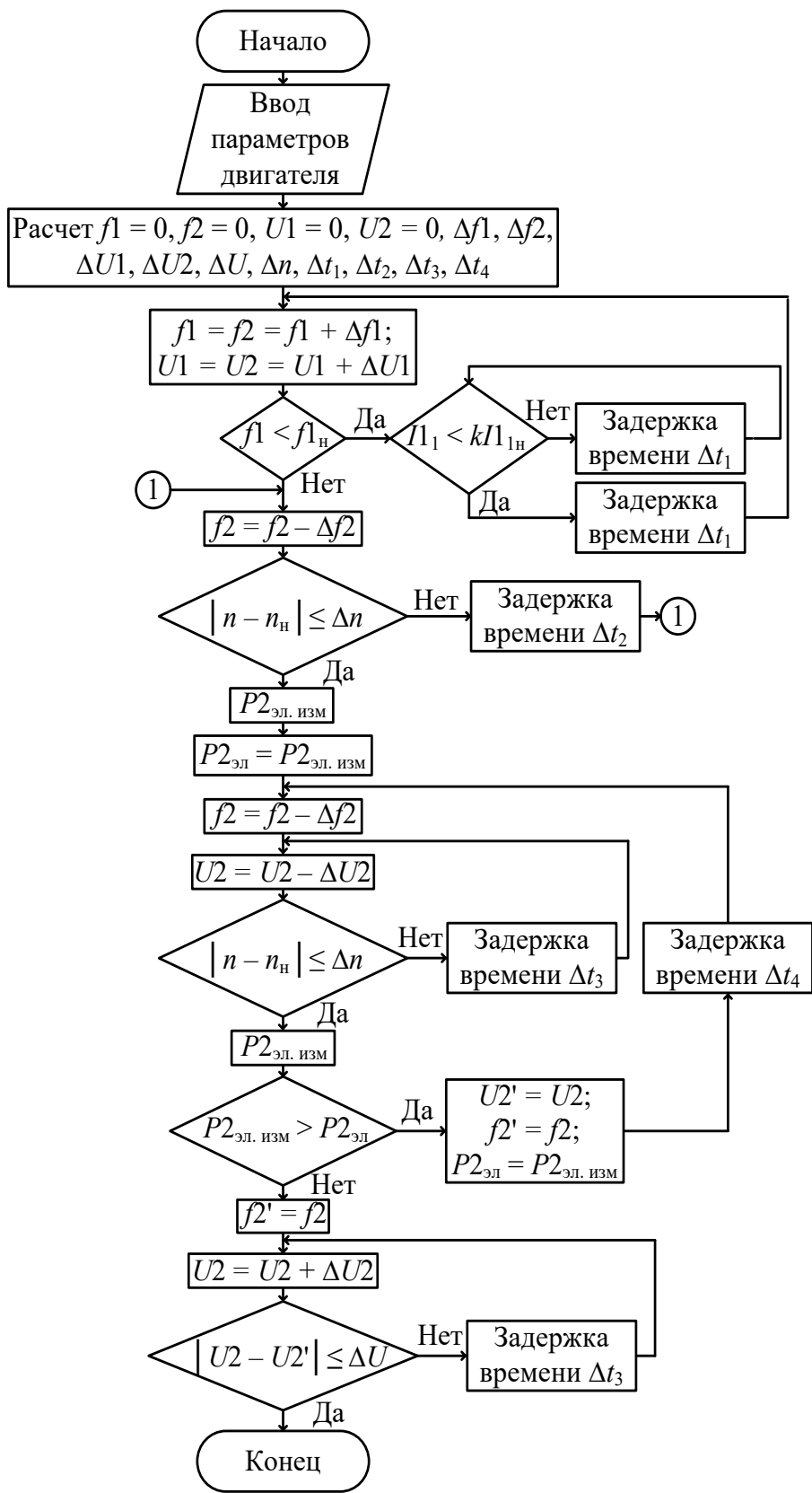


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма, реализующего предлагаемый способ нагружения асинхронных двигателей

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

Разработаны основные принципы проектирования систем испытания асинхронных двигателей. Данные принципы включают в себя схемы взаимной нагрузки асинхронных двигателей, имитационную модель системы испытания асинхронных двигателей в среде динамического моделирования *SimInTech*, разработанный способ нагружения асинхронных двигателей. Необходимо реализовать принцип систематизации и регламентации, включающий в себя методику проектирования систем испытания асинхронных двигателей.

Список литературы

1. Омельченко, Е. Я. Энергоэффективные испытательные стенды для электродвигателей / Е. Я. Омельченко, А. В. Белый, С. С. Енин, Н. В. Фомин // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 3(40). – С. 12-19.
2. Kazakov, Y. Research related electromechanical processes in an asynchronous traction motor - Asynchronous generator with common shaft based on field model / Y. Kazakov, I. Palilov // Advances in Electrical and Electronic Engineering. – 2015. – Vol. 13, No. 5. – P. 442-446.
3. Пат. 143348 РФ, МПК G01R 31/00. Устройство для испытания асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В. Д. Авилов, Д. И. Попов, А. В. Литвинов (РФ). № 2014112919/28; заявл. 02.04.2014; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20. 6 с.
4. Пат. 145998 РФ, МПК G01R 31/34. Схема испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В. Д. Авилов, В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. В. Литвинов (РФ). № 2014112920/07; заявл. 02.04.2014; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27. 6 с.
5. Попов, Д. И. Исследование эффективности способа снижения потерь при испытаниях асинхронных машин с применением среды динамического моделирования *SimInTech* / Д. И. Попов, Е. И. Минжасов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2025. – Т. 18, № 8. – С. 1062-1071.

В. А. Васильева, Д. Б. Гриц

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В УЗЛЕ СКОЛЬЗУНОВ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

В статье проведен комплексный анализ силового взаимодействия в узле скользунов грузового вагона. Рассмотрены конструктивные особенности узла, физическая природа действующих нагрузок, расчётные модели и экспериментальные методы исследования. Предложены пути оптимизации силового взаимодействия с целью повышения надёжности, безопасности и снижения эксплуатационных затрат. Определены перспективные направления для дальнейших исследований.

Ключевые слова: узел скользунов, силовое взаимодействие, износ гребня.

Надёжность и безопасность движения грузовых вагонов в значительной степени определяются эксплуатационными характеристиками узлов тележки, ключевым из которых является узел скользунов (или узлы вертикального и горизонтального гашения колебаний). Скользуны, взаимодействуя с ответными поверхностями надрессорной балки или рамы, обеспечивают поворот тележки относительно кузова при прохождении кривых, гашение колебаний и восприятие горизонтальных сил. Силовое взаимодействие в этом узле ухудшает свободный поворот тележки, что приводит к повышенному износу гребней колёс, рельсов и дефектам на поверхности катания колеса, росту сопротивления движению, ухудшению динамических качеств вагона и, как следствие, к росту эксплуатационных расходов и риску схода с рельсов в экстремальных режимах. На рисунке 1 показано, как менялось количество отцепленных грузовых вагонов за 2024 и 2025 года на Западно-Сибирской дороге из-за тонкого гребня и дефектов поверхности катания. Несмотря на положительную динамику (тенденция к снижению), дефекты поверхности катания и тонкий гребень, продолжают оставаться одними из наиболее критических и распространенных причин отцепки вагонов.

Цель исследования: провести системный анализ силовых взаимодействий в узле скользунов грузового вагона для выявления путей повышения его эффективности и долговечности.

Задачи исследования:

1. Анализ конструктивных особенностей узла.
2. Изучение физической природы нагрузок и механизмов трения.
3. Обзор расчётных моделей и экспериментальных методик.
4. Разработка рекомендаций по оптимизации конструкции и эксплуатации.

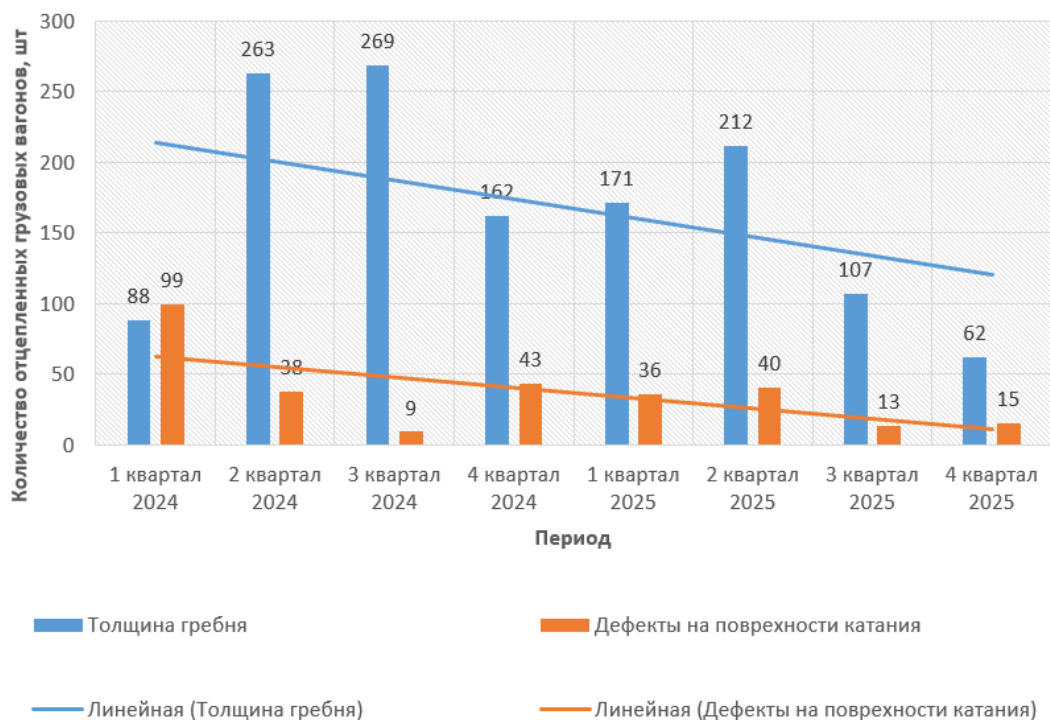


Рисунок 1 – Количество отцепленных грузовых вагонов за 2024 и 2025 года на Западно-Сибирской дороге из-за тонкого гребня и дефектов поверхности катания

Краткий обзор существующих проблем: к типичным проблемам относятся: нестабильность коэффициента трения из-за загрязнения и износа, повышенный износ колесных пар (особенно при «сухом» трении), неконтролируемые зазоры после длительной эксплуатации, недостаточное демпфирование в определённых частотных диапазонах, что приводит к росту динамических нагрузок на путь. [1]

1. Конструктивные особенности узла скользунов

Скользуны выполняют две основные функции:

- 1) передача вертикальной нагрузки от кузова на тележку через упругие и демпфирующие элементы;

2) обеспечение относительного горизонтального поворота тележки и кузова с заданным сопротивлением (моментом трения) для устойчивого движения в прямых и плавного вписывания в кривые.

Типовые схемы установки: Наиболее распространена схема с установкой скользунов (рис. 2) на надрессорной балке тележки, где они взаимодействуют с горизонтальными площадками или призмами рамы вагона. Встречается и обратная схема.

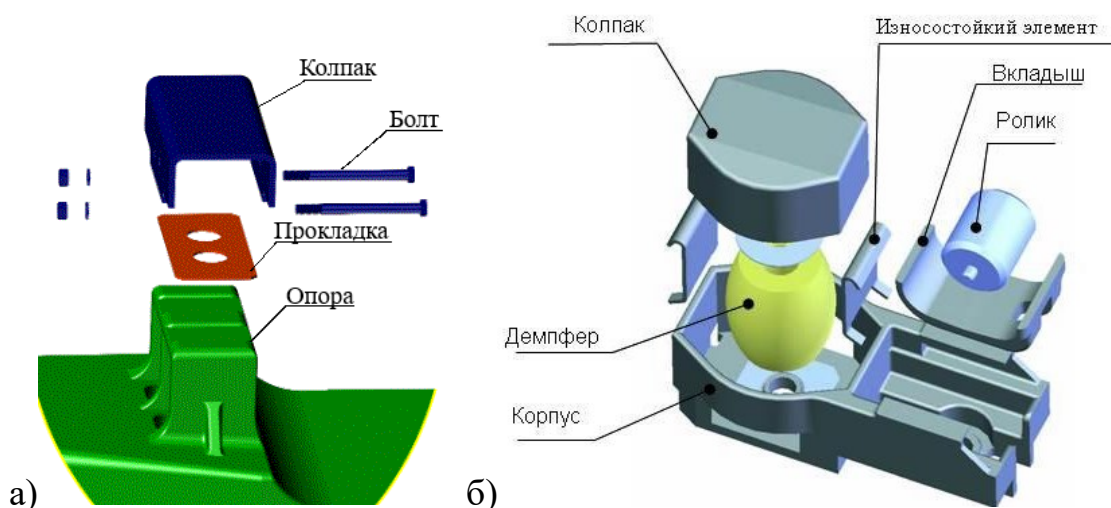


Рисунок 2 – Используемые узлы скользунов:

а – скользящий узел тележки модели 18-100; б – скользящий узел тележки модели 18-578

Основные элементы узла скользунов (рис.2, б) инновационных вагонов:

Корпус: жёсткая основа для крепления демпфирующего элемента.

Демпфер: ключевой элемент, непосредственно контактирующий с ответной частью. Изготавливается из антифрикционных материалов (полимеры, композиты). Может иметь упругую подвеску.

Колпак: обеспечивает равномерный прижим демпфера и регулировку преднатяга.

Регулирующие элементы (вкладыш): Позволяют компенсировать износ и поддерживать необходимый зазор или натяг.

Материалы: для демпферов применяются износостойкие материалы с контролируемым коэффициентом трения: капролон, полиамиды, композиты на основе тефлона, армированные волокном. Ответные поверхности часто выполняются из закалённой стали или также оснащаются сменными антифрикционными накладками.

2. Физическая природа силовых взаимодействий в узле

Виды нагрузок:

Вертикальная P_B : статическая нагрузка от массы кузова и динамические добавки от неровностей пути.

Горизонтальные (продольные P_T и поперечные P_{Π}): возникают при разгоне, торможении, движении в кривых, от ударов сцеплений.

Момент M_T , сопротивляющийся повороту тележки: формируется силами трения в контактных парах.

В классической схеме при повороте тележки демпфер скользуна проскальзывает относительно ответной поверхности. Сила трения определяется как:

$$F_{\text{ТР}} = \mu N \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения скольжения пары материалов;

N – нормальная сила прижатия (определяется регулировкой и вертикальной динамикой).

Важна нелинейность коэффициента трения скольжения пары материалов, зависящая от скорости скольжения, давления, температуры и состояния поверхностей. [2]

Влияние геометрических параметров:

Зазор: его увеличение приводит к «стуку» и резкому ударному началу взаимодействия при смене направления поворота, ухудшая динамику.

Угол наклона контактной поверхности: влияет на соотношение вертикальной и горизонтальной составляющих реакции, может способствовать самоустановке или, наоборот, заклиниванию.

Динамика взаимодействия: при движении в кривой малого радиуса скользуны одного борта полностью прижаты и работают в режиме скольжения, другого – могут иметь переменный контакт. При прохождении неровностей (вилянии) происходит высокочастотное микропроскальзывание с переменным вектором силы, что существенно влияет на износ.[3]

3. Расчётные модели силового взаимодействия

Для инженерных расчётов используют упрощённые модели:

Модель с приведёнными массами и жёсткостями, где узел скользуна представляется как упруго-демпфирующее звено с сухим трением (модель Кулона).

Формула для определения момента сопротивления повороту тележки (M_T) в квазистатической постановке:

$$M_T = \sum(\mu_i \cdot N_i \cdot R_i) \quad (2)$$

где μ_i – коэффициент трения i -го скользуна;

N_i – нормальная сила в i -м контакте;

R_i – расстояние (плечо) от оси поворота тележки до i -го скользуна.

Для более точного динамического анализа в современных пакетах (SIMPACK, Universal Mechanism, SOLIDWORKS) узел моделируется нелинейной силовой характеристикой, где сила трения является функцией относительной скорости, перемещения и нормальной нагрузки.

Пример зависимости:

$$F_{TP}(s, v) = F_H + (F_{st} - F_H) \cdot \exp\left(-\left(\frac{v}{v_{st}}\right)^\delta\right) + \sigma v \quad (3)$$

где s – перемещение;

v – относительная скорость;

F_H – нормальная нагрузка;

F_{st} – сила трения покоя;

v_{st} – характерная скорость;

δ – показатель степени, который определяет форму переходной характеристики силы сопротивления от скорости;

σ – коэффициент вязкого трения.

Учёт коэффициентов трения является наиболее сложным, так как требует статистического подхода или данных натуральных измерений для конкретных условий. [4]

4. Экспериментальные методы исследования

1. Измерение сил и моментов: использование тензометрических датчиков, установленных на элементах узла или специальных измерительных тележек для определения действующих в реальном времени нагрузок.

2. Стендовые испытания демпферов: испытания на фрикционно-износных машинах для определения коэффициента трения, износостойкости, зависимости от скорости, давления и температуры.

3. Анализ износа: метрологический контроль геометрии контактных поверхностей до и после пробегов, микроскопический анализ характера износа (абразивный, усталостный, адгезионный).

4. Верификация моделей: сравнение рассчитанных по моделям параметров движения вагона (углы поворота тележки, боковые силы) с данными, полученными в ходе ходовых динамических испытаний. Корректировка коэффициентов моделей на основе эксперимента.

5. Пути оптимизации силового взаимодействия

1. Материаловедческие:

Широкое внедрение композитных материалов с низким (0.08-0.15) и стабильным коэффициентом трения, не требующих смазки (на основе PTFE, PEEK).

Использование пар «металл-композит» вместо «металл-металл».

2. Конструктивные:

Упруго-катковые скользуны: Замена части скольжения на качение, что кардинально снижает момент трения и износ.

Применение прокладок металл-резина-металл для обеспечения постоянного преднатяга и виброизоляции.

Саморегулирующиеся конструкции с пружинным поджатием, автоматически компенсирующим износ демпфера.

3. Регулировочно-эксплуатационные:

Строгое соблюдение регламентов по регулировке зазоров и преднатяга при техническом обслуживании.

Системная лубрикация: Нанесение на контактные поверхности долговременных сухих или консистентных смазок, снижающих коэффициент трения и защищающих от коррозии. Однако эффективность требует контроля чистоты.

6. Влияние на эксплуатационные показатели вагона

Оптимизация узла скользунов напрямую ведёт к:

Снижению износа гребней колёс и поверхности катания за счёт уменьшения непроизводительных горизонтальных сил.

Уменьшению сопротивления движению (на 5-15%), что снижает энергозатраты на тягу поездов.

Повышению устойчивости и плавности хода в кривых, снижению риска схода с рельсов.

Продлению межремонтных пробегов вагонов и тележек за счёт увеличения ресурса колёсных пар.

7. Перспективные направления исследований

1. Нелинейное динамическое моделирование: Создание высокоточных моделей, учитывающих температурные эффекты, шероховатость, загрязнение и усталостное разрушение материалов.

2. «Умные» скользуны: Интеграция в узел датчиков силы/износа и адаптивных демпферов с регулируемым коэффициентом трения (например, на основе магнитореологических жидкостей) для оптимизации поведения в реальном времени.

3. Цифровой мониторинг: Использование систем предиктивной аналитики на основе данных с датчиков тележки для прогнозирования состояния узла и планирования ремонта «по состоянию».

Заключение

1. Узел скользунов является критически важным элементом грузовой тележки, определяющим её динамические и эксплуатационные характеристики.

2. Силовое взаимодействие в узле носит сложный нелинейный характер и зависит от множества конструктивных, материаловедческих и эксплуатационных факторов.

3. Основной путь повышения эффективности лежит в переходе от архаичных схем «сухого» трения к современным решениям с применением композитных материалов, упруго-катковых принципов и систем саморегулирования.

4. Оптимизация данного узла имеет значительный экономический эффект, выражающийся в снижении износа пути и колёс, экономии энергии и повышении безопасности движения.

5. Для дальнейшего прогресса необходимо углублённое междисциплинарное исследование с применением цифровых двойников и адаптивных технологий.

Научный руководитель – В. А. Никоваев, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ОмГУПС.

Список литературы

1. Васильева В. А. Сравнительный анализ типовых моделей тележек грузовых вагонов / В. А. Васильева // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : Материалы девятнадцатой научной конференции, посвященной Дню Российской науки, Омск, 06–11 февраля 2025 года. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 265-271. – EDN DCIXRQ.

2. Лукин В.В., Шадур Л.А., Демиховский М.Ю. Конструкция и расчёт вагонов. – М.: Маршрут, 2007.

3. Чернышев М.А., Коган А.Я. Динамика вагонов. – М.: УМК МПС России, 2002.

4. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Филатов Ю.М. Исследование трения и износа в узлах тележек грузовых вагонов // Трение и износ. – 2018. – Т.39, №4.

Е. И. Баканова, В. Л. Незевак

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

СТРУКТУРА И КЛЮЧЕВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ МОНИТОРИНГА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Химические источники тока на железнодорожном транспорте применяются для решения задач резервирования электропитания, в частности для обеспечения питания потребителей переменного и постоянного тока. На тяговых подстанциях железных дорог аккумуляторные батареи используются в системах оперативного постоянного тока тяговых подстанций. Неисправности аккумуляторных батарей могут приводить к отказам технических средств и нарушению безопасности движения поездов. В свете планируемого перехода к техническому обслуживанию по текущему состоянию и реализации проекта цифровой тяговой подстанции актуальной является задача разработки и внедрения на тяговых подстанциях систем мониторинга технического состояния аккумуляторных батарей, входящих в состав автоматизированных систем управления. В рамках решения указанной задачи необходимо определить структуру и ключевые требования к системам мониторинга, сформировать перечень требуемых элементов данных систем и их функциональность в части определения технического состояния, остаточного ресурса и защиты аккумуляторных батарей. В статье рассмотрены основные подходы, предлагаемые структура и перечень ключевых требований к системам мониторинга аккумуляторных батарей, алгоритмам их работы.

Ключевые слова: Аккумуляторная батарея, тяговая подстанция, система мониторинга, техническое состояние, параметры, остаточная емкость, регистрируемые показатели, функциональность, защита, алгоритм работы.

Аккумуляторные батареи (АКБ) получили широкое распространение в качестве источников резервного питания на электрических подстанциях [1.4295,

R
E
F
"
O
L
E
—
L
I
N

аппаратами и др.

Надежность работы систем оперативного постоянного тока (СОПТ) тяговых подстанция зависит от работоспособности аккумуляторных батарей. Определение остаточного ресурса аккумуляторов необходимо для прогнозирования работоспособности АКБ и проведения своевременного технического обслуживания

[
R

E Исследование E_x в/м от проводимости земли σ_3 , комплексное значение для
Грунта

$$E_x = \varepsilon_A + i\varepsilon_M = 6.705 + 18.705i = 25,41$$

" $E_x = 25.41, E(d) \approx 76747.8$

О]. В настоящее время для диагностики и технического обслуживания
I аккумуляторных батарей применяется система планово-предупредительных
E осмотров и ремонтов, состоящая регламентируемых видов технического
обслуживания: текущий осмотр (1 раз в месяц); текущий ремонт (1 раз в год);
I межремонтные испытания (1 раз в 8 лет).

I Структура систем мониторинга аккумуляторных батарей тяговых подстанций
N определяется конструкцией батарей и перечнем диагностических параметров, а
K также применяемыми защитами и балансировочными устройствами [Рисунок 8 –
В
Вертикальное и горизонтальное комбинированное моделирование электрического
8 поля почвенного материала

" Исследование E_x в/м от проводимости земли σ_3 , комплексное значение для
грунта

$$E_x = \varepsilon_A + i\varepsilon_M = 6.705 + 18.705i = 25,41$$

a $E_x = 25.41, E(d) \approx 76747.8$

\ , 76747.8]. На большинстве тяговых подстанций аккумуляторные батареи не
предусматривают параллельных ветвей и проектируются таким образом, чтобы
t падение напряжения в нагрузочном режиме могло быть компенсировано за
увеличения напряжения путем подключения дополнительных аккумуляторов.
Устройства балансировки аккумуляторов на тяговых подстанциях не применяются,
h а контроль напряжения осуществляется персоналом в ходе технического
обслуживания.

\ * Концепция цифровых тяговых подстанций предусматривает формирование
систем мониторинга, которые позволяют определять техническое состояние и
прогнозировать остаточный ресурс. В связи с этим для обеспечения технического

M
E
R
G
E
F

обслуживания по текущему состоянию при реализации малолюдных технологий требуется выполнить построение системы мониторинга таким образом, чтобы контролировались ключевые параметры, позволяющие обеспечить заданную надежность аккумуляторных батарей и своевременное техническое обслуживание.

Структура систем мониторинга определяется схемой соединения аккумуляторов и применяемыми методами для оценки остаточного ресурса и диагностики. Последние используют данные регистрации токов, напряжения и температуры элементов в различных режимах работы батарей, а также результаты технического обслуживания и контрольных проверок. В соответствии с этим структура систем мониторинга должна включать в себя следующие основные элементы: измерительные датчики, обеспечивающие передачу контролируемых показателей; устройство регистрации и хранения данных; вычислительное устройство для определения остаточного ресурса и поэлементного контроля; интерфейс для отображения остаточного ресурса и корректировки данных расчетов по результатам технического обслуживания (контрольных проверок).

Ключевыми требованиями к функциональности систем мониторинга являются: регистрация токов и напряжений по элементам и ветвям в зависимости от последовательно-параллельного соединения; регистрация температуры аккумуляторов и помещения; связь с АСУ ТП для проведения расчетов по определению остаточного ресурса; сигнализация выхода регистрируемых величин за пределы допустимых значений; передача данных о температуре аккумуляторов на зарядный агрегат для термокомпенсации.

При организации контроля в режиме реального времени техническое состояние аккумуляторов может определяться на основании истории их работы и зарегистрированных подсистемой контроля и учета данных о токе нагрузки, уровне напряжения и температуре с помощью диагностических модулей, индексированных по времени. Диагностическими параметрами являются ток нагрузки, уровень напряжения аккумуляторов и батареи, температура аккумуляторов АКБ, которая через интеллектуальное электронное устройство передает информацию на сервер и в АСУ ТП. Внутреннее сопротивление аккумуляторов может контролироваться при изменении тока или с помощью электрохимических импедансных анализаторов. Типовая схема подключения средств мониторинга и диагностики для АКБ приведена на рис. 1.

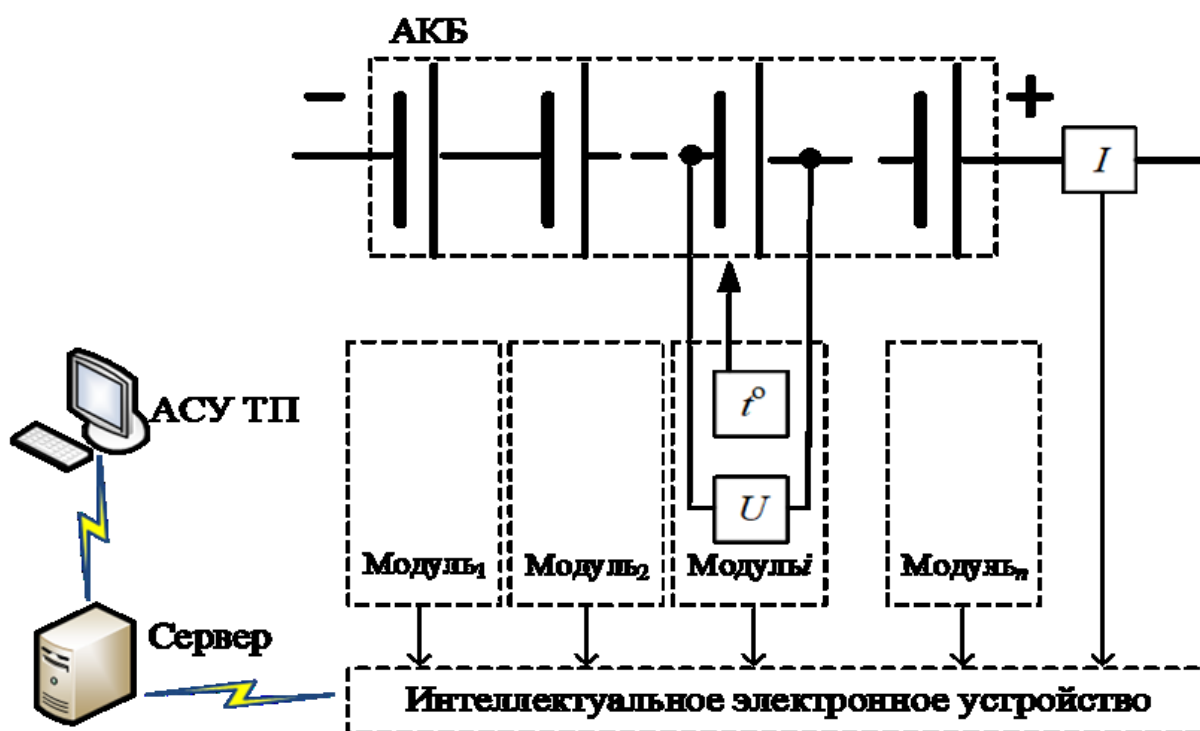


Рисунок 1 – Схема подсистемы мониторинга аккумуляторной батареи

Работа АКБ на тяговых подстанциях осуществляется в следующих условиях:

- постоянный подзаряд, режим параллельной работы с зарядно-подзарядным устройством на нагрузку системы оперативного постоянного тока;
- подзаряд во флотирующем режиме (при постоянном уровне напряжения на выходе зарядно-подзарядных агрегатов, режим CV);
- относительно узкий диапазон изменения температуры в помещении аккумуляторной, отсутствие перепадов, характерных для температуры окружающей среды.

Вольтамперметрические методы определения технического состояния аккумуляторных батарей являются одними из наиболее подходящих для определения напряжения, тока, емкости, степени заряженности аккумуляторов. В связи с этим система мониторинга АКБ должна включать в себя соответствующие датчики тока и напряжения, позволяющие контролировать указанные величины в течение всей эксплуатации. Дополнительной регистрируемой величиной выступает температура аккумуляторов и помещения, позволяющая выявлять отклонение от нормальных температурных режимов и обеспечить термокомпенсацию, реализуемую зарядно-подзарядным устройством подстанции.

Система мониторинга аккумуляторной батареи тяговой подстанции с указанными информационно-управляющими связями с оборудованием системы оперативного постоянного тока подстанции приведена на рис. 2, где использованы следующие обозначения: 1 – аккумуляторная батарея, состоящая из нескольких аккумуляторов, количество которых зависит от напряжения батареи; 2 – аккумуляторы батареи; 3 – 5 датчики напряжения, температуры и тока соответственно; 6 – шины постоянного тока; 7 – зарядно-подзарядное устройство, подключенное к шинам постоянного тока 6; 8 – контроллер, подключенный к выходам датчиков напряжения, температуры и тока 3 – 5; 9 – сетевой адаптер контроллера, связывающий его с ЭВМ; 10 – ЭВМ; 11 – сетевой адаптер ЭВМ, обеспечивающий связь с блоками 7 (зарядно-подзарядное устройство) и 16 (управляемый выключатель в цепи подключения аккумуляторной батареи к шинам постоянного тока); 12 – аппарат защиты аккумуляторной батареи; блок 13 – блок питания контроллера, сетевых адаптеров и ЭВМ; блок 17 – шины собственных нужд переменного тока подстанции. Указанные устройства размещены в помещениях 14 (аккумуляторная) и 15 (щитовая) [8].

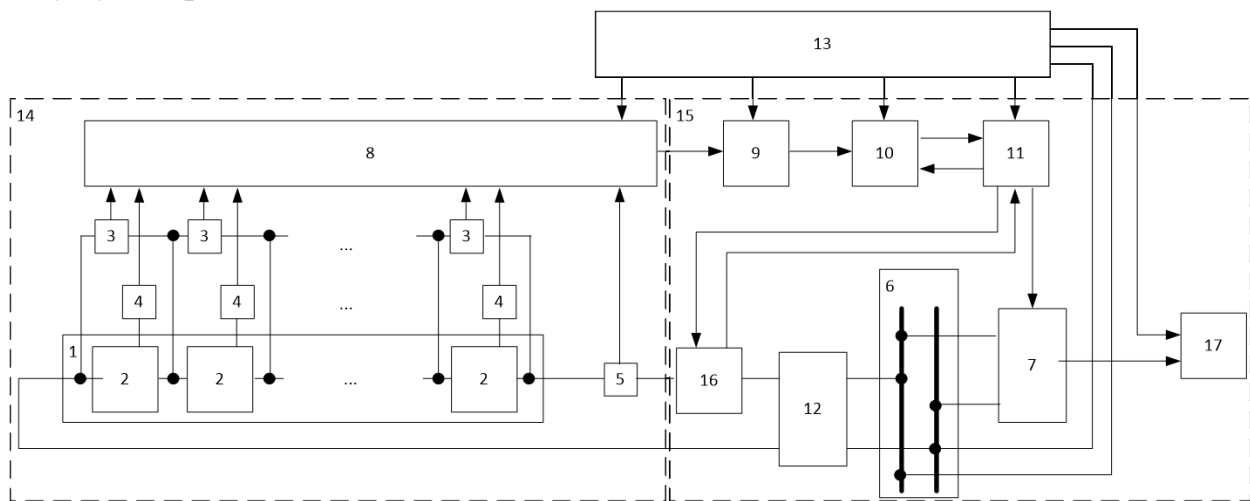


Рисунок 2 – Система мониторинга аккумуляторной батареи тяговой подстанции

Использование предлагаемой структуры системы мониторинга аккумуляторной батареи тяговой подстанции позволяет достичь следующих эффектов:

1) повышение точности температурной компенсации напряжения зарядно-подзарядного агрегата за счет использования усредненной температуры аккумуляторов батареи;

2) определение технического состояния на основе данных регистрации токов, напряжения и температуры аккумуляторов батареи в режимах заряда, разряда и в режиме разомкнутой цепи;

3) повышение надежности работы системы мониторинга за счет резервирования питания контроллеров и сетевых адаптеров от системы собственных нужд переменного тока подстанции.

При работе системы данные температуры в режиме реального времени усредняются и с выхода системы мониторинга поступают на вход зарядно-подзарядного агрегата. Далее формируется управляющее воздействие на выключатель в цепи подключения аккумуляторной батареи к шинам для регистрации напряжения и температуры в режиме разомкнутой цепи.

В настоящее время на стационарных объектах железнодорожного транспорта остаточный ресурс определяется по результатам планового технического обслуживания или используется нормированный срок эксплуатации. Во многих случаях фактический срок эксплуатации аккумуляторов оказывается меньше нормированного. Указанные обстоятельства определяют необходимость разработки системы мониторинга состояния аккумуляторных батарей.

Перспектива дальнейших исследований связаны с разработкой алгоритмов мониторинга и определения технического состояния аккумуляторов, использующих расширенный фильтр Калмана, с учетом последовательно-параллельного соединения аккумуляторов в батареях.

Список литературы

1. Применение накопителей энергии с использованием литийионных аккумуляторных батарей в системах оперативного постоянного тока / А.С. Герасимов, О.В. Гуриков, Е.Н. Кудрявцев [и др.] // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2015. – № 2(73). – С. 26–37.

2. Система обеспечения резервного питания подстанции с помощью литийионных батарей. Комплексные испытания и опытно-промышленная эксплуатация опытного образца / Д.Е. Лебедев, А.М. Потапенко, С.С. Иваницкий, А.С. Семягин // Энергия единой сети. – 2022. – № 5–6 (66–67). – С. 42–47.

3. Незевак, В.Л. Моделирование работы системы мониторинга аккумуляторных батарей при реализации концепции цифровой тяговой подстанции / В.Л. Незевак, О.А. Сидоров, Е.И. Баканова // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 1(38). – С. 89–98.

4. Баканова, Е.И. Применение технологий технического зрения при тепловизионном обследовании аккумуляторных батарей тяговых подстанций / Е.И.

Баканова, Г.Р. Ермачков, В.Л. Незевак // Материалы VIII Всерос. (с межд. уч.) науч.-практ. конф. – Чита: Иркутский гос. ун-т путей сообщ., – 2024. – С. 269–275.

5. Баканова, Е.И. Алгоритм определения остаточного ресурса аккумуляторных батарей для подсистем мониторинга цифровых тяговых подстанций / Е.И. Баканова, И.А. Кремлев, В.Л. Незевак // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2025. – Т. 68, № 1. – С. 20–29.

6. Баканова, Е.И. Применение данных регистрации систем мониторинга для оценки технического состояния аккумуляторных батарей подстанций / Е.И. Баканова, М.С. Морозкин, В.Л. Незевак // Материалы VI Всерос. науч.-техн. конф. с межд. уч. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщ., 2025. – С. 196–204.

7. Баканова, Е.И. Система функциональной диагностики аккумуляторных батарей для определения остаточного ресурса / Е.И. Баканова, В.Л. Незевак // Материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. с межд. уч. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщ., 2025. – С. 255–262.

8. Патент на изобретение №2852652 Российская Федерация, СПК G01R 31/36 (2025.01). Система мониторинга аккумуляторной батареи тяговой подстанции: №2024132289: заявлено 28.10.2024: опубликовано 11.12.2025/ Баканова Е.И., Кремлев И.А., Незевак В.Л., Скоков Р.Б.

А. А. Чирков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ПРОБЛЕМАТИКА РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Рассмотрены причины выхода из строя подвижного состава, исходя из анализа причин отказа составных узлов (тяговых электрических машин). Поставлены задачи совершенствования датчиков-регистраторов.

Ключевые слова: тяговые электрические машины, подвижной состав, датчик, отказ.

Измерение частичных разрядов (ЧР) является актуальным способом оценки качества различных типов изоляции, локализуя места возникновения ЧР в изоляции. Сравнивая информативность способа с измерением коэффициента затухания или сопротивления изоляции, измерение ЧР находит слабые места диэлектрика для их однозначного определения. Это актуально для онлайн-измерений, позволяющих обнаружить как ЧР, так и наличие дуги и искрения.

Для тяговых электрических машин измерение ЧР применимо относительно:

- слабых мест в диэлектрической конструкции,
- процесса разрушения диэлектрика,
- нормативов по техническому обслуживанию и межремонтных промежутков.

Проверка на ЧР в тяговых электрических машинах нашла повсеместное применение, большое количество исследований обнаружило наличие не только ряда методов испытаний, что пороговые значения и способы анализа для итоговой обработки измеренных данных от разных вариантов оценки кардинально разнятся и не однозначны.

Опыты для обмоток статора на ЧР делятся на [1]:

- 1) испытания на обесточенных электрических двигателях (офлайн-измерения), статорная обмотка запитана от стороннего источника;

2) испытания эксплуатируемых электрических двигателей (онлайн-измерения), электрическая машина функционирует в рабочем режиме.

Испытания делятся на он-и ЧР усматривая целью их применение разным диагностическим персоналом.

Онлайновые испытания ЧР определяются под действием на тяговую электрическую машину следующих факторов: тепловых, электрических, механических и окружающей среды. Имеют место преимущества:

- напряжения на обмотке согласно номинального реального режиму;
- испытания проводятся при номинальной рабочей температуре;
- оказывают влияние номинальные рабочие механические воздействия.

Онлайновые испытания ЧР применимы из-за механических воздействий на обмотку в процессе измерений при номинальной рабочей нагрузке. Так как при измерении отсутствует дополнительный источник питания, устанавливаются датчики при остановке, эти измерения более приемлемы чем офлайновые испытания. Изменения состояния диэлектрической системы статорной обмотки локализуются и оцениваются на начальном этапе.

Опытные пороги служат основанием для числового анализа итогов измерений. Числовая тенденция частичных разрядов и сопоставление с электрическими двигателями идентичной конструкции и с похожей диэлектрической системой, измеренная в равных режимах использования применяя одинаковое измерительное оборудование, продиктовано в целях достоверной оценки состояния изоляции статорной обмотки.

Онлайновые измерения обмоток статора по частичным разрядам более сравнительные, но вовсе не абсолютные. Это снижает возможность отображения данных частичных разрядов и указывает, что пороговые значения частичных разрядов исключают определение без выполнения некоторых условий. Данные причины затрудняют определение объективных порогов частичных разрядов для испытаний приемки новых, а также отремонтированных статорных обмоток. Установка пороговых значений частичных разрядов затруднена факторами:

1) Солидный выбор датчиков частичных разрядов, а также диагностического оборудования - то есть, высока вероятность несовместимости устройств что ведет к разным результатам при одинаковых сигналах частичных разрядов.

2) При использовании одинаковой диагностической аппаратуры частичных разрядов имея индуктивности, емкости и переходные сопротивления обмотки формируют разные импульсы напряжения и тока. При измерении частичных разрядов в тяговых машинах разной мощности и соединения обмоток дают разные результаты при одинаковом состоянии изоляции.

3) Разные повреждения изоляции генерируют отличные по величине частичные разряды для одинакового дефекта.

4) Частичные разряды возникают на разном отдалении от места размещения датчика. Это сказывается на уровне сигнала частичного разряда.

Очевидна бессосновательность определения времени до выхода из строя изоляции статорной обмотки применяя количественные характеристики частичных разрядов вместе с разными электрическими измерениями. Учитывая разнообразие методов, является неточным определение частичных разрядов нижнего уровня, разрушающих изоляцию (особенно множественно).

Шумовые помехи существенно влияют на сигналы измерений, сильнее во время онлайн-испытаний. Наложение сигналов частичных разрядов и помех в одной фазе может искажает сигнал в следующей фазе.

Диагностируя частичные разряды нужно принимать во внимание, что проблемы, связанные с материалом изоляции статорной обмотки часто связаны с токами утечки из-за наличия проводящего контура между ее элементами, с безимпульсными разрядами.

Для полноты картины на промышленных предприятиях используются одновременно два вида диагностики – вибродиагностика подшипников в конструкции подшипниковых щитов (включая узел муфты, шестерни на валу двигателя) и акустико-эмиссионная диагностика для локализации пробоев изоляции (частичных разрядов) в обмотках статоров.

Производственный процесс позволяет использовать стационарное исполнение системы диагностики частичных разрядов, что улучшает качество сигналов с датчиков.

Как стационарные, так и портативные системы позволяют не только фиксировать и записывать сигналы, но и прогнозировать дальнейшую эксплуатацию электрической машины, регистрируя сигналы частичных разрядов датчиками акустической эмиссии (Рис. 1).



Рисунок 1 – Датчик акустической эмиссии (слева) и TEV-датчик (справа)

Стационарные системы диагностики имеют преимущество перед локомотивами в установке датчиков на корпус. Но существуют трудности из-за затухания сигналов, что ведет к увеличению количества датчиков. Из-за динамики работы колесно-моторных блоков также добавляются сторонние сигналы.

Существуют TEV-датчики (Рис. 1) растекания высокочастотных поверхностных токов [2], устанавливаемые на поверхности электрического двигателя. Недостатком их является низкая помехозащищенность, сторонние импульсы с большей амплитудой, не относящиеся к работе объекта диагностирования будут зафиксированы.



Рисунок 2- Конденсаторы связи (слева) и высокочастотный трансформатор тока HFCT (справа)

Для подвижного состава уместна расстановка датчиков на питающих подводах – конденсаторы связи. Датчики данного типа подключаются непосредственно к питающему напряжению, это предъявляет повышенные требования по стабильности показаний и работоспособности при перенапряжениях. Их емкость составляет от 80 до 2000 пикофарад. Чем она больше, тем чувствительнее система регистрации частичных разрядов, шире частотный диапазон регистрируемых импульсов.

Высокочастотные трансформаторы тока HFCT отличаются от измерительных трансформаторов тока промышленной частоты наличием ферритовых сердечников. Частотный диапазон которых зависит от ферромагнитных свойств сердечника, с верхней границей диапазона до 30 МГц. Чувствительность и помехозащищенность HFCT-датчиков - средние. HFCT-датчики, конструкционно монтируются на проводниках заземления корпуса статора, экранов, шины нулевых точек статорных обмоток.

Датчиками частичных разрядов в тяговых электрических машинах используются электромагнитные антенны разной конструкции.

- Миниатюрные электромагнитные антенны, размещаются в пазах статора под немагнитным клином (несколько антенн, распределенных по окружности). Чувствительны и удовлетворительно помехозащищены. Установка возможна на заводе или при капитальном ремонте статора.

- Датчиков температуры в пазах статора с функцией электромагнитных антенн. Монтируются в нескольких пазах между секциями обмотки. Недостаток: подключены проводами, не подходящими для передачи высокочастотных сигналов. Чувствительность таких электромагнитных антенн недостаточная.

- Электромагнитные антенны, устанавливаемые внутри корпуса статора в зоне лобовых частей. Это достаточно простые и дешевые датчики, работающие в СВЧ диапазоне частот, до 1,5 ГГц. Они крепятся на корпусе статора и не имеют контакта с токоведущими частями обмотки (Рис. 3).

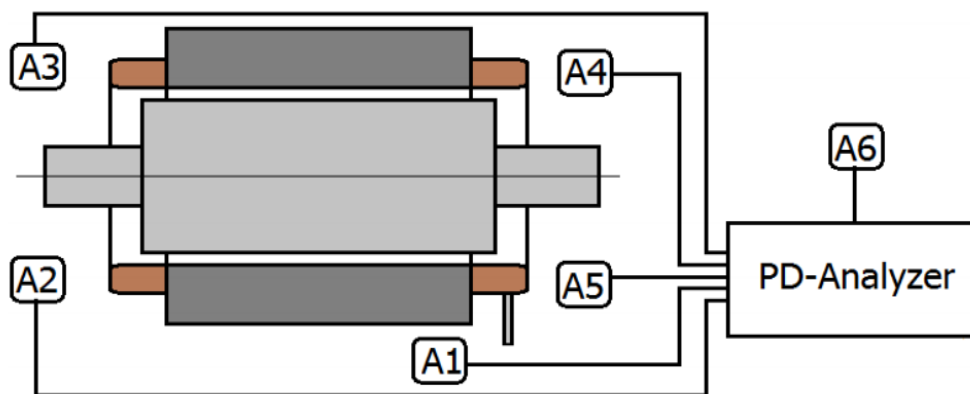


Рисунок 3 – Схема расстановки электромагнитных антенн на корпусе электрической машины

Ставятся задачи конструкционной применимости датчиков к различным объектам исследования.

Ввиду разнообразия электрических машин (тяговые двигатели, вспомогательные машины, трансформаторы) в локомотивном парке [3] существует широкий диапазон конструкционных размеров и внешних условий применения различных способов регистрации частичных разрядов совершенствуется модельный ряд датчиков, разрабатываются новые способы.

Научный руководитель – В. В. Харламов, д.т.н., профессор кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС.

Список литературы

1. ГОСТ IEC/TS 60034-27-2—2015. МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ. Часть 27-2. Измерения частичного разряда на изоляции статорной обмотки включенных в сеть вращающихся электрических машин.
2. Измерение частичных разрядов в изоляции статоров высоковольтных электрических машин. – Текст: электронный/ <https://dimrus.ru/texts/stator2.html>. Дата обращения: 05.02.2026.
3. Харламов, В. В. Диагностирование межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя магистральных локомотивов. Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация. Журнал «Известия Транссиба» №1 (37), 2019 г. – С. 44-54.

П. Н. Блинов, С. А. Ершова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АКТУАЛИЗАЦИЯ «ПРАВИЛ ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ ДЛЯ ПОЕЗДНОЙ РАБОТЫ» – ТРЕБОВАНИЕ ВРЕМЕНИ

В работе выполнено обоснование важности «Правил тяговых расчетов для поездной работы» при выполнении тяговых расчетов как основы для оптимизации, ведущей к снижению затрат, обеспечению эксплуатационной надёжности подвижного состава, бесперебойности и безопасности движения поездов. Обоснована необходимость актуализации «Правил тяговых расчетов для поездной работы». В работе применены методы системного анализа, теоретического познания (формализация), общелогические приёмы исследования (обобщение, анализ, классификация, аналогия).

Ключевые слова: локомотив, тепловоз, правила, тяговые расчеты, актуализация, эксплуатационная надёжность, безопасность движения, размерности единиц физических величин, расчетная скорость, тяговая характеристика, предложения по внесению изменений.

Тяговым расчетам на железнодорожном транспорте уделяется исключительное внимание. Методы и нормативы тяговых расчетов регламентируются специальными «Правилами тяговых расчетов для поездной работы» (ПТР) [1], утверждаемыми ранее Министерством путей сообщения (МПС), теперь – открытым акционерным обществом «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»).

ПТР – один из важнейших документов, определяющих работу железнодорожного транспорта. Они периодически пересматриваются исходя из внедрения более совершенных технических средств и передового опыта работы [2].

Первые ПТР под названием «Временные правила о производстве тяговых расчетов» были утверждены и изданы МПС в 1917 году, затем периодически пересматривались и обновлялись с учетом изменений, которые происходили в подвижном составе и в условиях эксплуатации железных дорог. Предпоследние ПТР пересмотрены в 1980 году, изданы в 1985 г. Они продолжают действовать для типов и серий подвижного состава, не включенных в новые ПТР.

Новые, действующие ПТР пересмотрены в 2016 году, утверждены

распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 г. № 867р.

ПТР – это не просто технический документ, а нормативная и методологическая основа всей системы обеспечения безопасности, эффективности и надёжности движения поездов. Их важность при выполнении тяговых расчетов можно обосновать по нескольким критически важным направлениям:

1) Гарантия безопасности движения (Основной приоритет).

ПТР устанавливают единые, научно обоснованные и проверенные практикой методы расчётов, которые исключают субъективный подход.

ПТР предусматривают расчёт тормозов поезда, при этом строго регламентируют методы определения потребной и фактической тормозной силы, длины тормозного пути, необходимого количества тормозных осей в зависимости от массы поезда, скорости, профиля пути и типа тормозов. Это гарантирует, что поезд сможет безопасно остановиться перед запрещающим сигналом или на ограничивающем спуске.

ПТР обеспечивают контроль соблюдения норм массы поездов, требуют проверить, не превышает ли масса и длина поезда пределов, установленных для данного участка пути по условиям торможения.

2) Обеспечение эксплуатационной надёжности и бесперебойности движения поездов.

ПТР содержат методы расчёта массы поезда, которую данный локомотив может провести по конкретному участку, не допустив остановки из-за недостатка силы тяги на подъёмах. Это предотвращает сбои в графике движения поездов.

Правила регламентируют оптимальные (по расходу энергии и износу оборудования) и безопасные режимы ведения поезда на различных элементах профиля (подъем, спуск, кривые), что снижает риск поломок и аварий.

3) Экономическая эффективность перевозок.

Тяговые расчеты по ПТР – это основа для оптимизации, ведущей к снижению затрат.

ПТР предусматривают определение оптимальной массы поезда. Максимально возможная, но безопасная масса поезда, рассчитанная по ПТР, позволяет наиболее полно использовать мощность локомотивов и пропускную способность участков, снижая удельные расходы энергоресурсов на перевозочную работу.

ПТР обеспечивают выполнение расчёта расхода энергоресурсов на тягу поездов. На основе методов ПТР строятся графики движения и определяются нормы

расхода топлива или электроэнергии, что позволяет планировать и контролировать один из основных видов эксплуатационных расходов.

4) Унификация и юридическая определённость.

ПТР предусматривают единый «язык» для всех участников железнодорожных перевозок, обеспечивают одинаковое понимание методик, исходных данных и результатов расчётов конструкторами локомотивов, инженерами инфраструктуры, диспетчерами, машинистами и операторами. Это критически важно для согласованной работы.

ПТР обеспечивают применение единой нормативной база для расследования и экспертизы нештатных ситуаций. В случае происшествий или спорных ситуаций расчёты, выполненные строго по ПТР, служат объективным доказательством при установлении причин и ответственности. ПТР – это юридически значимый документ.

5) Информационная основа для смежных систем.

Результаты тяговых расчетов, выполненных по ПТР, являются входными данными для:

- составления графиков движения поездов;
- планирования пропускной и провозной способности участков;
- проектирования новых и модернизации существующих железнодорожных линий (определение руководящего уклона, мощности систем электроснабжения и т.д.);
- разработки и настройки систем автоматического ведения поезда (САВП) и автоматической локомотивной сигнализации (АЛС).

Таким образом, ПТР – это фундаментальный стандарт, который:

- трансформирует тяговые расчеты из чисто инженерной задачи в строго регламентированную и обязательную процедуру, обеспечивающую безопасность движения поездов;
- служит связующим звеном между физическими характеристиками локомотивов и вагонов, параметрами пути и практическими задачами эксплуатации.
- балансирует три ключевых требования железнодорожного транспорта: безопасность, надёжность и экономичность.

Соблюдение ПТР – обязательное условие для существования современного, сложного и высокоинтенсивного железнодорожного движения.

В последние годы проведены паспортные испытания некоторых новых

серийных типов тягового подвижного состава, в результате которых получены их уточненные характеристики. Накопился опыт эксплуатации электрической и тепловозной тяги, в том числе на линиях с высокой степенью заполнения пропускной способности, а также опыт вождения соединенных поездов.

Следствием этого должна стать актуализация ПТР, включающая в себя исправление ошибок и несоответствий, имеющихся в ПТР 2016 года, и внесение дополнений по паспортным характеристикам новых серийных типов тягового подвижного состава.

С этой целью проведен анализ ПТР 2016 года, который позволил разработать предложения для внесения в них изменений и дополнений. Предложения по актуализации ПТР систематизированы и представлены в таблице.

Таблица 1

Предложения для внесения изменений и дополнений в ПТР,
утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р

Раздел ПТР и замечания	Предложения для внесения изменений и дополнений
1	2
<p>1.1. Общие указания. Приложение 1. В разделе 1.1.2 и в Приложении 1 приводятся размерности единиц физических величин, которые необходимо принимать при тяговых расчетах. Некоторые из них не соответствуют Международной системе единиц (СИ). Это, например, время в минутах и часах, расстояние перегонов в км, скорость в км/час, крутизна уклона в промилле (‰), расход электроэнергии на тяговом участке в киловатт-часах, удельный расход топлива в кг/тонно-км</p>	<p>В разделе 1.1 исключить фразу, не полностью соответствующую действительности (Единицы физических величин даны в Международной системе единиц (СИ)) или дополнить ее исключениями для указанных внесистемных единиц физических величин</p>
<p>3.1.3. Конструкционные скорости тепловозов и дизель-поездов. В таблице 27 отсутствуют основные характеристики для новых тепловозов, эксплуатирующихся и вводимых в эксплуатацию в настоящее время на сети железных дорог</p>	<p>Таблицу 27 дополнить основными характеристиками новых тепловозов (2ТЭ25КМ, 3ТЭ28, 2ТЭ35А, ТЭ26, ТЭМ18ДМ, ТЭМ14, ТЭМ10, ТЭМ23 и др.)</p>

1	2
<p>3.1.3. Конструкционные скорости тепловозов и дизель-поездов. Приложение 5. В таблице 27 длительная или расчетная скорость и длительная или расчетная сила тяги некоторых тепловозов не соответствуют данным тяговых характеристик этих тепловозов, представленным в Приложении 5</p>	<p>В таблице 27 и в Приложении 5 привести в соответствие значения длительной или расчетной скорости и длительной или расчетной силы тяги тепловозов</p>
<p>3.2.3. Сила тяги при трогании с места. В таблице 28 указана сила тяги тепловозов при трогании с места. Отсутствуют данные по тепловозу 2ТЭ25К и отсутствуют данные для новых тепловозов, эксплуатирующихся и вводимых в эксплуатацию в настоящее время на сети железных дорог</p>	<p>Таблицу 28 дополнить данными по тепловозу 2ТЭ25К и данными для новых тепловозов (2ТЭ25КМ, 3ТЭ28, 2ТЭ35А, ТЭ26, ТЭМ18ДМ, ТЭМ14, ТЭМ10, ТЭМ23 и др.)</p>
<p>3.3.1. Основные положения. В таблице 30 приведен класс изоляции ТЭД Н/Ф. Однако, в соответствии с ГОСТ 8865-93 «Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация» класса изоляции Н/Ф не существует, есть класс изоляции Н, для которого максимальная температура установлена 180 °С</p>	<p>В таблице 30 привести классы изоляции ТЭД в соответствии с ГОСТ 8865-93 «Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация»</p>
<p>3.3.2. Начальные данные. В последнем абзаце сказано: При меньших стоянках температуру перегрева определять по предыдущему рейсу как температуру в момент прибытия, снижая ее за время стоянки по кривой охлаждения (см. прил. 6). Однако, в Приложении 6 отсутствуют кривые охлаждения</p>	<p>Приложение 6 дополнить кривыми охлаждения</p>

1	2
<p>3.4.3. Определение расхода топлива на стоянках и при движении по станционным и деповским путям.</p> <p>В таблице 32 отсутствуют частота вращения коленчатого вала дизелей и соответствующие им расходы топлива на холостом ходу новых тепловозов, эксплуатирующихся и вводимых в эксплуатацию в настоящее время на сети железных дорог</p>	<p>Таблицу 32 дополнить данными для новых тепловозов (2ТЭ25КМ, 3ТЭ28, 2ТЭ35А, ТЭ26, ТЭМ18ДМ, ТЭМ14, ТЭМ10, ТЭМ23 и др.)</p>
<p>Приложение 6</p> <p>На рисунке 6.41. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭДУ133 тепловозов 2ТЭ25К, 2ТЭ116У, на рисунке 6.42. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ТЕ-006 тепловозов ЧМЭЗ, ЧМЭЗК, ЧМЭЗТ, ЧМЭЗЭ, на рисунке 6.43. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭД118А тепловозов ТЭМ2, ТЭМ2А, ТЭМ2К, ТЭМ2У, на рисунке 6.45. Тепловые характеристики тягового электродвигателя ЭДУ133 тепловозов ТЭМ7, ТЭМ7А, ТЭМ18, ТЭМ18Д перепутаны обозначения осей Т и τ_{∞}</p>	<p>В Приложении 6 на рисунках 6.41, 6.42, 6.43 и 6.45 привести в соответствие обозначения осей Т и τ_{∞}</p>

Актуализация ПТР, состоящая в исправлении ошибок и несоответствий, имеющих в действующих ПТР, и в дополнении их паспортными характеристиками новых серийных типов локомотивов – требование времени и научно-технического прогресса.

Список литературы

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы / Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 12.05.2016 № 867р. – Москва : ОАО «РЖД», 2016. – 515 с. – Текст : непосредственный.
2. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги : учебник / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – Москва : Маршрут, 2005. – 448 с. – Текст : непосредственный.

А. В. Васильев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОЦЕНКА ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ И ПРОГНОЗ КАРЬЕРНЫХ ТРАЕКТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

В материалах статьи рассмотрены вопросы оценки освоения образовательной программы студентами высшего учебного заведения, выполнен анализ выборки накопленных данных обучающихся, проработаны задачи по получению прогноза карьерной траектории студентов.

Ключевые слова: образовательная программа, карьерная траектория, анализ данных, методы оценки освоения.

В настоящее время компаниям и производству требуются высококвалифицированные специалисты, а также хорошо подготовленные выпускники высших учебных заведений, в связи со стремительным развитием различных отраслей экономики и внедрении информационных технологий и протекания цифровой трансформации в компаниях.

Одним из способов достижения повышения качества формирования специализированных навыков и умении будущего выпускника высшего обучения служит персонализированная оценка освоения образовательной программы с точки зрения освоения компетенций и навыков, а также анализу накопленных данных по студентам смежных направлений подготовки. Компаниям нужны специалисты с определенными навыками и умениями, которые отражены в профессиональных стандартах. Таким образом можно сопоставить профессиональные стандарт по компетенциям с образовательными программами. В процессе обучения проводить их оценку и наблюдать за освоением компетенций, для того чтобы в нужный момент направить студента для их лучшего освоения или переориентировать на другое направление, которое востребовано на рынке.

Для формирования такой системы оценки в современное время образовательные организации необходимо пройти этап цифровой трансформации. Цифровая трансформация должна обеспечить принципиально новую организацию образовательной деятельности и работы административно-хозяйственных структур, повысить эффективность научно-исследовательской деятельности, помочь оптимизировать и автоматизировать вспомогательные процессы [1].

Одна из основных задач программы цифровой трансформации университета – реализация комплексного проекта создания единой информационной модели, охватывающей все направления деятельности вуза, в которой интегрированы все подсистемы и их базы данных между собой, в единое «Озеро данных» с внешними сервисами (системами) корпоративной шиной данных [1]. Для реализации данной задачи необходимо создание современной цифровой инфраструктуры, создания дата-центров, для хранения данных, применение современных серверов программного обеспечения и систем информационной безопасности.

Каждая образовательная организация высшего образования находится на разной стадии цифрового развития, но в настоящее время большинство организаций уже внедрили большое количество цифровых решений, возникает вероятность, что в высшее учебное заведение оцифровала все, но разными технологиями и продуктами, что повышает стоимость сопровождения корпоративной информационной системы и приводит к «лоскутной» автоматизации.

Для перехода на предложенную архитектуру корпоративной информационной среды необходимо пройти по определённому количеству этапов, количество этапов зависит от цифровой зрелости организации.

Первый этап может быть представлен оцифровкой данных и запуском или переходом на системы фирмы «1С», которые были описаны раньше. На практике переход на системы расчета заработной платы, необходимо осуществлять методом параллельного внедрения системы, для того чтобы минимизировать возможность неверного расчета заработной платы, так как в большинстве случаев историческая система уже отлажена и не делает ошибок в расчётах.

Системы «1С:Документооборот государственного учреждения», «1С:Университет», «1С:Бухгалтерия государственного учреждения» и «1С:Автоматизированное составление расписания» можно внедрять методом «из коробки», с переносом исторических данных, с помощью «Мастера первоначальной загрузки» или с помощью ручного внесения данных. Данный этап направлен на переход от «лоскутной» автоматизации к комплексной автоматизации на платформе одного решения.

Второй этап направлен на создание сервисов для студентов и преподавателей или сотрудников организации. Основной отличительной особенностью данного этапа является формирование плана внедрения сервисов, дорожная карта (road-map), в котором отражается последовательность подсистем информационных баз и модулей веб-приложений, сроки работы с каждой подсистемой и модулем и описанием работ, которые будут выполнены на данном этапе, а также взаимодействия систем 1С, какие данные из какой системы должны быть получены или из «Озера данных» для работы цифрового-сервиса. На этом этапе появляется взаимодействие систем и подсистем, а также взаимодействие подразделений организации для выполнения функций сервиса, с протеканием бизнес-процессов в организации между собой, а также взаимодействия отделов разработки и сопровождения внутреннего контура и внешнего контура. Для выстраивание сложной структуры организации бизнес-процессов по запуску сервисов и систематизации целесообразно создание рабочих групп. В рабочую группу должны входить эксперты основных структурных подразделений вуза, задействованных в реализации цифрового сервиса, руководители высшего звена ответственные за работу данных подразделений, разработчики и аналитики. С целью обеспечения качественной работы и сокращения ошибок должен быть разработан регламент работы рабочей группы, в которой описан алгоритм по работе и запуске сервисов [2].

Благодаря данному архитектурному цифровому решению, наличию систем сбора данных и системы хранения данных «Озеро данных», для каждого студента может быть составлена траектория его обучения, с учетом данных поступления, данных накопленных за период обучения, а именно какие оценки студент получал во время обучения, а также данных трудоустройства после

завершения обучения. На основании накопленного опыта и данных, известного результата выпускников, их оценок и трудоустройства, которые университет хранит в информационной базе данных, можно проводить анализ и прогнозировать траектории студентов и абитуриентов. Соответственно целесообразно разработать систему, которая будет обрабатывать подготовленные данные, выявлять отклонения и предупреждать об изменениях. При этом добавив возможность не только опираться на те данные, которые существуют и уже собраны в системе, но и давать возможность работодателям участвовать в накоплении данных, проверке способностей студентов, влиять на их траекторию обучения.

Цифровой сервис оценки компетенций позволяет выстраивать живой диалог между студентом, вузом и работодателям. Архитектура сервиса строится на той же технологической платформе, что и личный кабинет студента и преподавателя.

Для обучающихся и выпускников в сервисе существуют следующие возможности: возможность проходить процедуру оценивания сформированности компетенций при освоении образовательной программы; возможность проходить процедуру оценки сформированности надпрофессиональных компетенций (от работодателя и вуза); возможность проверять уровень развития компетенций по предложенным оценочным материалам со стороны работодателей; получать рекомендации по развитию «западающих» компетенций; оценить уровень сформированности профессиональных компетенций для подбора наиболее подходящей его уровню вакансии предприятия; устанавливать уровень своего профессионального соответствия к смежным образовательным программам; получать анализ результатов процедуры оценивания компетенций (от работодателя и вуза); получать адресную рекомендацию по развитию компетенций (от работодателя и вуза); формирование карьерных траекторий по итогам проведения процедуры оценивания компетенций [3].

Для представителей работодателя в сервисе существуют следующие возможности: формулировка профессиональных компетенций, востребованных на производстве; загрузка собственных оценочных материалов для проверки

компетенций у обучающихся и выпускников; комбинировать оценочные материалы, используемые для оценки сформированности компетенций; конструировать матрицу профессиональных компетенций по образовательной программе университета; оценивать соответствие образовательной программы, реализуемой вузом, актуальным вакансиям и профессиональным (корпоративным) требованиям; публиковать информацию о вакансиях на своем предприятии с учетом квалификационных требований; получить, ранжированный список обучающихся/ выпускников университета по уровню сформированности компетентностной рамки; возможность загружать формулировки надпрофессиональных компетенций и материалы для их оценивания; анализ результатов процедуры оценивания; разработка рекомендаций по развитию компетенций, формирование карьерных траекторий по итогам проведения процедуры оценивания компетенций [3].

Для высшего учебного заведения в сервисе существуют следующие возможности: загрузка учебных планов; загрузка компетенций и индикаторов их достижений из образовательной программы; загрузка профессиональных стандартов; установление связи между компетенцией (индикатором) и обобщенной трудовой функцией профессионального стандарта; установление связи между компетенцией (индикатором) и трудовой (ыми) функцией (ями) (тип профессиональной задачи) к которой (ым) готовится выпускник; размещение и корректировка оценочных материалов; установление связи между оценочными материалами и компетенциями; добавление в процедуру оценивания компетенций, предложенных работодателями; проведение процедуры оценивания; возможность загружать формулировки надпрофессиональных компетенций и материалы для их оценивания; анализ результатов процедуры оценивания; разработка рекомендаций по развитию компетенций; формирование карьерных траекторий по итогам проведения процедуры оценивания компетенций [3].

Оценка подбора компетенций, заявленных образовательной программой высшего учебного заведения и ожидания работодателя, может быть выстроена на оценке профессии работодателя и образовательной программы, на которой обучается студент относительно профессионального стандарта с помощью

семантического метода.

За основу семантического анализа была взята модель Multilingual Sentence-BERT (SBERT) это модификация предварительно обученной сети BERT, а сеть BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) это революционная модель глубокого обучения от Google (2018), изменившая NLP. Она использует двунаправленный контекст (анализирует слова слева и справа одновременно) для понимания смысла текста, а не просто ключевых слов. BERT на базе трансформеров применяется в поиске Google, классификации и анализе текста.

Таким образом, применяя современные технологии в образовательном процессе и в управлении образовательной организации, можно повысить уровень подготовки обучающихся на программах подготовки кадров по высшему образованию, основываясь на накопленные данные обучающихся, исторические данные выпускников, а также данных, которые собираются и накапливаются благодаря работе представителей организаций, заинтересованных в получении высококвалифицированных кадров.

Список литературы

1. Балагин О.В., Васильев А.В., Корыткин Е.Ю. Цифровая трансформация университета // Вестник Сибирского Отделения Академии Военных Наук.– Омск, 2022. – № 64. – С. 20-24.
2. Балагин О.В., Корыткин Е.Ю., Васильев А.В. Результаты внедрения и развитие «1С:Университет ПРОФ» в Омском государственном университете путей сообщения, реализация обмена данными с использованием «1С:Шина» // Новые информационные технологии в образовании: Сборник научных трудов XXIV международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С 19-21.
3. Давыдов, А.И. Цифровой сервис профессиональных и надпрофессиональных компетенций выпускников вузов по техническим специальностям // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2025693823. Россия, 2025.

А. Г. Петракова, Е. М. Кирпиченко

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ НА СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

В материалах статьи рассмотрены вопросы повышения уровня безопасности движения и качества обслуживания пассажиров за счёт снижения задержек пассажирских поездов при внедрении систем аналитической отчетности позволяющих вести учет и контроль правонарушений

Ключевые слова: задержки пассажирских поездов, системы аналитической отчетности, правонарушения на транспорте.

В современных реалиях железнодорожный транспорт Российской Федерации имеет ряд преимуществ при осуществлении пассажирских перевозок: регулярность перевозок и их независимость от погодных условий, удобство для пассажиров, надежность, а также обеспечение безопасности.

Причины задержек пассажирских поездов могут быть как внешние (путь, переезды, сторонние вмешательства), так и внутренние (неисправность подвижного состава, человеческий фактор). Но последнее время наблюдается рост совершения правонарушений именно на железнодорожном транспорте во время поездок пассажиров как в поездах дальнего следования, так и в поездах пригородного сообщения. Основная часть таких задержек приходится на поезда, идущие в северные регионы России.

В качестве примера рассмотрены причины задержки пассажирских поездов за 2024 г. на примере Свердловской железной дороги, на которую и приходится большая часть перевозки пассажиров в северные регионы страны.

Задержки в границах Свердловской железной дороги составили 1570 пассажирских и 1490 пригородных поездов.

Количество задержанных поездов представлено на рисунке 1 с разбивкой по региональным управлениям, которых пять на Свердловской железной дороге:

- Пермское региональное управление (РЕГ-1);
- Екатеринбургское региональное управление (РЕГ-2);
- Тюменское региональное управление (РЕГ-3);
- Нижнетагильское региональное управление (РЕГ-4);
- Сургутское региональное управление (РЕГ-5).

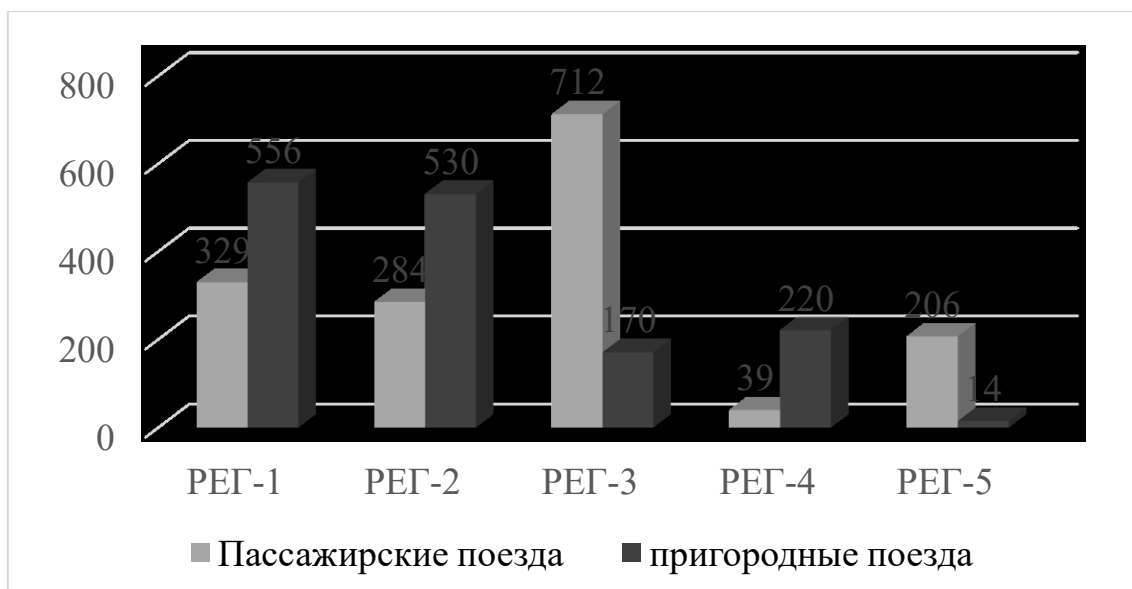


Рисунок 1 – Количество задержанных поездов

Проанализировано количество поездо-часов задержек по итогам работы за 2023 г. (рис.2).



Рисунок 2 – Поездо-часы задержек поездов

При расследовании причин задержек пассажирских поездов были определены три основных:

- неисправность подвижного состава (отказ технических средств);
- нарушения технологии (ремонт, обслуживание);
- человеческий фактор (независящие от перевозчика).

Для улучшения качества обслуживания пассажиров, а также для обеспечения безопасности движения основной целью перевозчика является снижение задержек поездов, а значит разработка мероприятий с целью сокращения причин задержек пассажирских перевозок.

В этой связи становится вопрос о снижении количества правонарушений пассажирами и разработке нового программного комплекса или усовершенствование существующего, позволяющего контролировать проезд пассажиров, ранее нарушивших общественный порядок.

Все предприятия пассажирской компании АО «ФПК», оснащены и используют АСУ «Экспресс-3», но это является недостаточным. Необходимо создание такой системы, которая позволит формировать аналитический отчет, обеспечивать учет, а также контроля правонарушений, которые выявляются в поездах дальнего следования.

Предлагается разработка новой системы на базе АСУ «Экспресс-3», в которую будет вводиться вся информация по правонарушениям на основе протоколов органов внутренних дел, а также делать аналитический отчет и вести учет правонарушений в пассажирских поездах дальнего следования [1].

Для этого необходимо предусмотреть ввод первичной информации:

- о правонарушителях;
- формирование и корректировки классификатора правонарушений;
- формирование и выдача информации о правонарушителях для поездных бригад о пассажирах, некогда совершивших противоправные действия;
- формирование аналитического отчета о правонарушениях в поездах дальнего следования по датам, месяцам, годам и направлениям.

Новую систему программно-аналитического комплекса предлагается реализовать на базе автоматизированного рабочего места – «АРМ Нарушители», функциональные части которого представлены на рис.3.

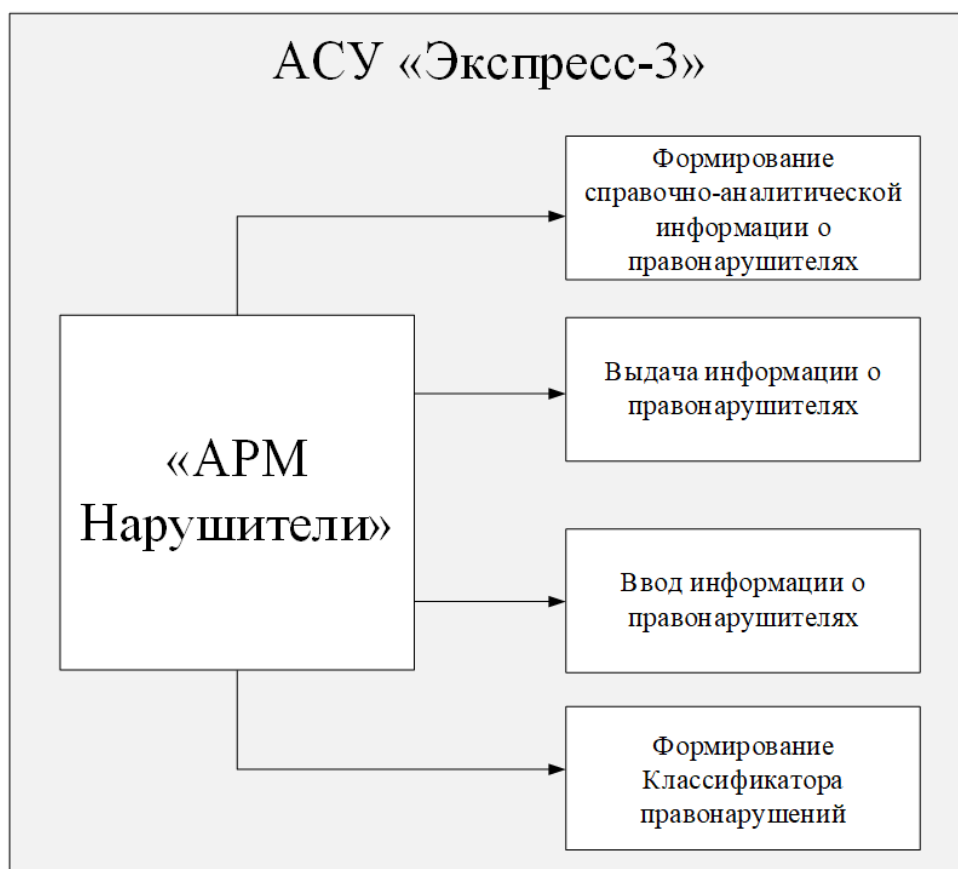


Рисунок 3 – Функциональные части программно-аналитического комплекса «АРМ Нарушители»

Ввод необходимых данных о правонарушениях, их корректировку при необходимости, удаление ошибочно введенных данных, а также различные справки, аналитические отчеты – все это позволит делать предлагаемый комплекс.

Меню АРМ «Нарушители» представлено на рисунке 4. В процессе доработки программного комплекса меню можно расширить, добавив необходимые разделы.

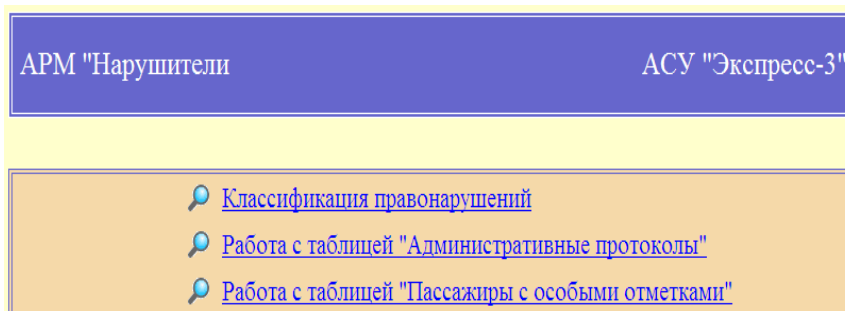


Рисунок 4 – Окно выбора действий в «АРМ Нарушители»

Доступ к данным сведениям будет ограничен для обеспечения конфиденциальности данных пассажира. Для ввода информации о совершенном правонарушении необходимо заполнить поля в разделе «Работа с таблицей «Административные правонарушения»» (рис. 5).

[Главная страница АРМа](#)

АРМ "Нарушители" АСУ "Экспресс-3"

Работа с таблицей "Административные протоколы"

Интервал дат составления протокола	С: 27.11.2014 дд.мм.гггг	ПО: 27.11.2014 дд.мм.гггг
Дорога принадлежности вагона (филиал ОАО "ФПК")	* Неважно	
Номер протокола		
Вид правонарушения	* Все категории правонарушений	
Номер поезда		
Интервал дат отправления поезда с начальной станции	С: 27.11.2014 дд.мм.гггг	ПО: 27.11.2014 дд.мм.гггг
	<input checked="" type="radio"/> Не залавать интервал дат отправления поезда с начальной станции	
	<input type="checkbox"/> показать все записи, в том числе недействующие	

Выдать информацию

Рисунок 5 – Окно выбора информации о правонарушениях

Каждое правонарушение предлагается классифицировать по степени значимости с присваиванием односимвольного кода. Значимость совершенного правонарушения будет проставляться в баллах. Классификатор основных правонарушений приведен в таблице 1.

В качестве нормативно-справочной информации в «АРМ Нарушители» будут использовать данные:

- наименование филиалов АО «ФПК», в которых были нарушения правопорядка;
- маршруты и расписание движения пассажирских поездов дальнего следования;
- разработанный классификатор правонарушений с возможностью его корректировки;
- первичные данные о пассажирах, совершивших противоправные действия;
- первичные данные об административных протоколах, оформленных в поездах сотрудниками правопорядка.

Классификатор правонарушений

Вид правонарушения	Условная значимость	Код правонарушения
Нарушение транспортной безопасности (угон, терроризм, в т.ч. телефонный)	1	Б
Насилие и агрессивное хулиганство	2	А
Порча имущества, оборудования вагонов, вандализм	3	И
Кража	4	В
Мелкое хулиганство	5	Х
Распитие спиртных напитков и употребление запрещенных веществ	6	П
Пассажиры, требующие особого внимания	7	О
Курение, нарушение правил пожарной безопасности	8	К
Мошенничество (в том числе несанкционированная торговля)	9	Н
Безбилетный проезд (провоз ручной клади) при отказе оплаты	10	З
Посадка и высадка на ходу поезда, проезд на подножках, срыв стоп-крана	11	С
Несанкционированный выброс мусора, нарушение санитарной зоны	12	М
Нарушение правил пересечения гос. границы	13	Г
Нарушение таможенного законодательства при пересечении гос. границы	14	Т
Другие виды	15	Д

Предлагаемая система так же позволит в подсистеме «Формирование справочно-аналитической информации о правонарушителях» обрабатывать имеющуюся информацию и формировать следующие данные:

- справки о правонарушениях по филиалам АО «ФПК»;
- справки о количествах и тяжести правонарушениях конкретного пассажира;
- аналитическая справка правонарушений по филиалам АО «ФПК», железным дорогам с разбивкой по месяцам и годам.

Подобные данные можно формировать с учетом категорий правонарушений за выбранный период, отчетные сутки, месяц, год, а так же за произвольный период дат в течение месяца или года.

Реализацию данной системы предлагается провести в три этапа.

На первом этапе необходима разработка коммуникации системы «Экспресс-3» с «АРМ Нарушители» при оформлении проездного документа.

На втором этапе предлагается ограничить физическое лицо, ранее совершившего правонарушение, при выборе места для проезда в пассажирском вагоне. В частности в зависимости от степени тяжести совершенного правонарушения возможно применить условие, когда данное лицо будет обязано совершать поездку в сопровождении третьего лица, несущего за него полную ответственность, либо условие выкупа полного купе и. т. д.

И на третьем этапе предлагается использовать страховой сбор при определении стоимости проезда в зависимости от ранее совершенного правонарушения, который будет рассчитываться индивидуально с учетом классификатора правонарушений.

Также рекомендуется исходя из статистики по направлениям, где будет наблюдаться наибольшее количество правонарушений выработать дополнительные рекомендации для сотрудников правопорядка, входящих в состав поездной бригады

Таким образом, предлагаемая система позволит учитывать особенности пассажиров, ранее совершивших правонарушения в поездах дальнего следования, а также улучшить профилактические меры с целью снижения правонарушений на транспорте и обеспечения безопасности пассажироперевозок.

Список литературы

1. Пазойский Ю.О., Шубко В.Г., Вакуленко С.П. «Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения): Учебное пособие. – Москва, 2009 г. – 342 с.
2. Сунгатуллина, А.Т. Добычина «Автоматизированная система учета пассажиров, совершивших противоправные действия в поездах формирования АО «ФПК», и предоставления информации для поездных бригаад», Вестник ВНИИЖТ, 2016 г. Т.75 №2 С.82-87.

В. А. Минаков, С. А. Ершова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ АНГАРОВ ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ «ГОРЯЧЕГО ПРОСТОЯ» ЛОКОМОТИВОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В научной работе рассматривается актуальная проблема эксплуатации локомотивного парка в зимний период – «горячий простой», связанный с работой силовой установки на холостом ходу в ожидании задания. Показано, что данный режим приводит к нерациональному перерасходу дизельного топлива, ускоренному износу оборудования и увеличению эксплуатационных расходов. Выполнен обзор существующих методов минимизации последствий «горячего простоя», включая организационные и технические решения. Обоснована перспективность применения быстровозводимых утепленных ангаров как средства обеспечения нормируемого теплового режима при простое локомотивов в ожидании работы.

Ключевые слова: тепловоз, дизель, простой в ожидании работы, экономическая эффективность.

Проблема «горячего» простоя локомотивов (или работа на холостом ходу в ожидании задания) – это одна из самых острых и затратных проблем в сфере железнодорожных перевозок, особенно в зимний период. Особенно актуальна для северных стран с холодным климатом.

«Горячий» простой локомотива вынужденная мера, что вступает в прямое противоречие с экономической эффективностью и экологичностью. Локомотив все время простоя находится в рабочем состоянии, в холодное время года, для выделения тепла, для исключения захлаживания систем дизеля.

Анализ показателей работы локомотивов [2] позволяет установить, что распределение времени работы магистральных и маневровых локомотивов заметно различается (рисунок 1).

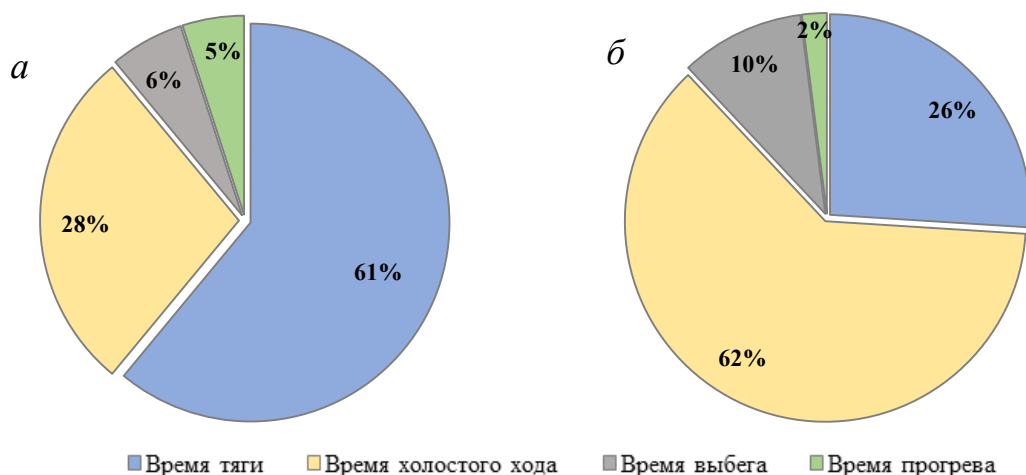


Рисунок 1 – Распределение времени работы локомотивов:
 а – магистральных локомотивов; б – маневровых локомотивов

Существенное различие в эксплуатационных режимах магистральных и маневровых локомотивов заключается в доле полезного времени их работы. Тогда как магистральные локомотивы эксплуатируются преимущественно в движении, то до 50% времени работы маневровых локомотивов приходится на простой в ожидании работы. Данный простой, зачастую реализуемый в режиме холостого хода или «горячего простоя», и сопряжен с прямыми потерями дизельного топлива и увеличением эксплуатационных расходов без выполнения полезной работы.

Для минимизации негативных последствий «горячего простоя» (перерасход топлива, износ двигателя) на практике применяется комплекс организационных и технических мер, включающий оптимизацию графиков работы, применение стационарных или бортовых установок и тд. Но данные меры не всегда позволяют полностью исключить необходимость работы дизеля на холостом ходу в условиях низких температур.

Оптимальным с энергетической точки зрения режимом отстоя, не требующим затрат бортового или стационарного энергоснабжения, является размещение локомотива в отопляемом помещении. В силу ограниченной вместимости и удаленности локомотивных депо от мест постоянной дислокации техники, перспективным техническим решением выступает использование быстровозводимых утепленных ангаров (рисунок 2). Данные сооружения позволяют организовать простой в ожидании работы подвижного состава с

поддержанием нормируемого микроклимата и обеспечением его оперативной готовности к эксплуатации.



Рисунок 2 – Применение быстровозводимых ангаров на станционных путях

Отопление быстровозводимых ангаров для отстоя локомотивов должно решать главную задачу – поддерживать температуру не менее $+5^{\circ}\text{C}$, исключая теплопотери, например, при открытии ворот или большой площади помещений. Отопление склада может быть организовано посредством нескольких типов котельного оборудования. При этом от используемого топлива напрямую зависит и его доступность, и стоимость. Выполнен экономических расчет затрат (таблица 1) на отопления ангаров при различных видах топлива, для помещения площадью 300 м^2 , высотой 6 м, что позволяет размещать 4 маневрового локомотива одновременно.

Таблица 1

Расчет затрат на отопления ангаров

№	Вид топлива	Затраты в месяц, р
		Стандартной теплоизоляции
1	Природный газ	6000
2	Дрова	10800
3	Сжиженный газ	30000
4	Уголь каменный	12000
5	Пеллеты	18000

6	Дизельное топливо	36000
7	Электричество	40800
8	Отопление тепловым насосом	9600

Учитывая время нахождения локомотивов в режиме простоя (рисунок 1), месячная норма расхода топлива составит не менее 3000 кг на 4 подвижные единицы (учитывая, что локомотив находится на 0-й позиции контроллера машиниста), что составляет более 140 тыс. р. Учитывая результаты расчета, можно заключить, что применение быстровыводимых ангаров на станционных путях, экономически обоснованно.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года. М.: ОАО «РЖД», 2011. 97 с.
2. Анисимов. А. С. Оценка влияния работы тепловоза на холостом ходу на износ деталей дизеля / А. С. Анисимов, В. А. Минаков, В. О. Носков. // Вестник УрГУПС, № 1 (53), 2022. С. 40 – 45. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48177654>
3. Быстровыводимые ангары и модули [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yugmontag.ru/>.
4. Хасин Л. Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством / Л. Ф. Х а с и н // Желдориздат, 2002. 267 с.
5. Экономика железнодорожного транспорта: методические указания и задания к практическим занятиям / Г. И. Акользина, Ю. М. Буинцева, И. В. Ларина [и др.] // Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2007. 41 с.

Л. В. Милютина

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДГУ ТЕПЛОВЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАГРУЗОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Оснащение современных тепловозов микропроцессорными системами контроля, управления и диагностики (МСКУиД) позволяют накапливать информацию о параметрах работы ДГУ в эксплуатации. Однако при проведении нагрузочных (реостатных) тепловозов в ремонтном депо условия работы ДГУ значительно отличаются от поездной работы. Автоматизированные системы контроля и испытаний (АСКИ) тепловозов на станциях реостатных испытаний также способны собирать и обрабатывать диагностическую информацию. В дальнейшем – при соответствующей программной обработке – она может быть использована для оценки энергоэффективности тепловоза. Исходным «кейсом» для этого должен послужить архив реостатных испытаний и полученная после статистической обработки информации «эталонная модель» ДГУ тепловоза.

Ключевые слова: тепловоз, эксплуатация, дизель-генераторная установка, внешняя характеристика, контроль, настройка, уровень мощности.

Известным подходом к решению вопросов контроля дизель-генераторных установок (ДГУ) тепловозов в эксплуатации является использование для оценки и прогнозирования изменения в техническом состоянии оборудования средств и систем бортовой диагностики [1].

На современных тепловозах, оснащенных микропроцессорными системами контроля, управления и диагностики (МСКиД), реализуются функции сбора, обработки и визуального представления информации о различных параметрах работы локомотива, а также накопления и передачи для дальнейшей обработки диагностической информации. В то же время, имеется ряд причин, не позволяющих в полной мере воспользоваться большими объемами диагностической информации и сформировать в режиме реального времени объективную оценку технического состояния локомотива, учет которого является весомым резервом снижения эксплуатационных расходов [2].

Несмотря на то, что с развитием микропроцессорных систем управления и диагностики тепловозов (МСУТ) появилась возможность записи параметров работы тепловоза, которые можно перенести на стационарный персональный компьютер (ПК) для анализа и автоматического диагностирования, в указанной статье отмечается, что «...функция автоматического диагностирования требует дальнейшего развития, так как не позволяет получать в нужном объеме адресной информации для проведения ремонтных и настроечных работ» [3].

Исследование влияния параметрических отказов оборудования тепловоза на его энергоэффективность, основываясь на информации от МСУТ, было выполнено сотрудниками ОАО «ВНИКТИ» [4]. Полученные результаты позволили авторам сделать заключение о том, что «основным фактором, определяющим уровень энергоэффективности тепловоза в эксплуатации является «... качество рабочего процесса в цилиндрах дизеля». Однако, главной проблемой, весьма затрудняющей применение показателей, определяющих энергоэффективность тепловозов в эксплуатации, является большая вариативность их как истинных, так и измеренных значений, никак не связанная с энергоэффективностью локомотивов, которую данные показатели должны характеризовать. Большая вариативность, в первую очередь, определяется непрерывно изменяющимися режимами работы ДГУ в эксплуатации [5]. Выход из положения в данной ситуации возможен при оценке энергоэффективности ДГУ тепловозов в стационарных условиях нагружения, т. е. при проведении штатных послеремонтных нагрузочных испытаний.

Такой подход к оценке энергоэффективности тепловоза был предложен сотрудниками ОАО «ВНИКТИ» с тем лишь отличием от штатных послеремонтных нагрузочных испытаний, что для его реализации требуется контроль параметров рабочего процесса дизеля по всем цилиндрам одновременно [6].

Существенный недостаток предлагаемой методики заключается в низкой эксплуатационной надежности первичных преобразователей (датчиков) для контроля внутрицилиндрового давления. При выходе же хотя бы одного датчиков из строя, диагностирование ДГУ с использованием комплекса «Магистраль» становится невозможным. Еще одним недостатком является сложность контроля расхода топлива ДГУ, вследствие особенностей конструкции топливных систем тепловозных дизелей.

В связи с этим, вместо сложного и весьма недостоверного контроля показателей энергоэффективности, основанных на прямом измерении расхода топлива, более предпочтительным для решения задачи оперативного контроля энергоэффективности представляется использование косвенного параметрического контроля технического состояния указанных систем тепловоза [5].

Таким образом, задача разработки технологии оценки энергетической эффективности ДГУ тепловоза при проведении штатных реостатных испытаний косвенными методами становится актуальной.

Современные автоматизированные системы контроля и испытаний тепловозов (АСКИ), установленные на станциях реостатных (нагрузочных) испытаний тепловозов (Алмаз, Кипарис, Магистраль) – это информационно-измерительные системы, представляющие собой функционально объединенные измерительные, вычислительные и вспомогательные средства, устройства и принадлежности, предназначенные для получения, преобразования и обработки измерительной информации с целью ее предоставления для функций контроля, диагностирования и идентификации. По сути своей АСКИ – это автоматизированные системы параметрического контроля.

Параметрические методы контроля и диагностирования имеют следующие основные особенности:

параметрические методы диагностирования основаны на контроле быстродействующих процессов, поэтому процесс фиксации контролируемых параметров должен быть автоматизирован;

необходимый перечень контролируемых параметров устанавливается с учетом конструктивных особенностей дизеля и его приспособленности к установке датчиков;

при проведении реостатных испытаний съем информации осуществляется при рабочих режимах ДГУ;

формирование результатов диагностирования связано с применением различного рода математических моделей, поэтому обработка получаемой диагностической информации должна быть реализована с применением компьютерных технологий.

Несмотря на то что, специалисты ОАО ВНИКТИ разработали и предлагают к внедрению встроенную экспертную систему "ЭСкадра" для

оперативной тестовой диагностики оборудования тепловозов [7], хотя и предназначенную лишь для локомотивов, оборудованных бортовыми микропроцессорными системами управления (МСУ), однако, вполне пригодную и для автоматизированных реостатных испытаний тепловозов с использованием АСКИ, к сожалению, алгоритм оценки диагностической информации разработчиками не раскрывается.

Разработка диагностических моделей при использовании параметрических методов предполагает установление зависимости между значениями контролируемых параметров работы тепловозного дизеля и возможными причинами их изменения на основе аппарата многомерной статистики, охватывающей одновременное наблюдение и анализ более чем одной переменной результата этого наблюдения. Для анализа полученной информации используется традиционный аппарат корреляционного анализа, для нахождения линейных отношений между двумя наборами переменных [8].

Рассматривая методы обработки исходной информации в целях составления и применения алгоритмов функционально-параметрического контроля и диагностирования, так же следует обратиться к одному из основных подходов к процессу обработки. Он заключается в том, что измеренные значения параметров диагностируемого дизеля сравниваются со значениями тех же параметров, измеренными ранее на таком же нагрузочном и скоростном режимах для "среднего" исправного такого же дизеля. В результате сравнения вычисляются отклонения измеряемых параметров, и все дальнейшие операции диагностики с привлечением соответствующих моделей и алгоритмов проводятся лишь с указанными отклонениями [9].

Это подтверждается накопленным опытом разработки и исследованиями различных методов функционального диагностирования ДВС, свидетельствующим о перспективности использования наряду со специализированными аппаратными средствами, позволяющими оценивать структурные параметры технического состояния, методов параметрического диагностирования, основанных на анализе традиционно измеряемых в эксплуатации термогазодинамических и теплотехнических параметров.

Основным структурным параметром, определяющим эффективность работы ДГУ, является удельный эффективный расход топлива. Однако сложность его определения при реостатных испытаниях тепловозов заключается

в трудности – несмотря на наличие множества разнообразных расходомеров – измерения расхода топлива при проведении послеремонтных нагрузочных испытаний, а также погрешности измерений, связанных с особенностями конструкции топливной системы тепловоза.

В этом случае оправдан переход к так называемым диагностическими параметрам, которые при проведении испытаний можно достаточно легко контролировать.

О том, что температура выпускных газов по цилиндрам тепловозного дизеля является одним из основных диагностических параметров свидетельствуют многие источники [10], в том числе и исследования тепловой напряженности маневровых тепловозов при проведении реостатных испытаний, выполненные сотрудниками кафедры «Локомотивы» ОмГУПС [11].

Современные АСКИ для тепловозов основываются на допусковом контроле параметров, определенных Правилами проведения реостатных испытаний. Недостатком метода является тот факт, что граничные значения допусков устанавливаются лишь для номинального режима работы ДГУ, в то время как на долю этого режима у маневровых тепловозов приходится от 0,5 % до 1,0 % общего времени работы. При этом допустимые параметры работы ДГУ на промежуточных позициях контроллера машиниста не нормируются.

В данной ситуации оправданным является использование методов параметрической диагностики, которые основываются на анализе отклонений диагностических параметров от их «эталонных» значений. Выход отклонений диагностических параметров от этих значений за рекомендуемые пределы свидетельствует о появлении неисправности и требует ее устранения.

Техническое и теплотехническое состояние, возможно, оценивать системой показателей и основными параметрами. В соответствии с центральной предельной теоремой А. М. Ляпунова естественно полагать, что наиболее частым распределением параметров в эксплуатации является нормальный закон [12].

Обработка полученных в процессе проведения испытаний данных делится на несколько этапов: первичная обработка данных; разработка форм и составление таблиц для систематизации информации; заполнение таблиц; проверка достоверности данных, а также их статистическая обработка; анализ

первичных статистик; оценка достоверности отличий; нормирование данных; корреляционный и факторный анализ.

Исходной информацией для разработки статистической математической модели работы ДГУ могут стать первичные отчетные документы автоматизированного контроля работы ДГУ и АСРГ с использованием АСКИ типа КИПАРИС.

Проблема наблюдения и эксперимента заключается в том, что значение какой-либо характеристики явления или процесса абсолютно точно определить невозможно. В результате многократных измерений физической величины получится множество значений, имеющих большее или меньшее рассеяние относительно среднего значения. Это связано с грубыми ошибками измерений, методическими ошибками и случайными ошибками. Грубые ошибки выявляются и устраняются достаточно легко, методические ошибки выявляются в процессе отладки методики эксперимента и измерений и либо устраняются, либо учитываются. Случайные ошибки устранить невозможно, но можно их минимизировать.

Полученные и надлежащим образом обработанные данные несут большие потенциальные возможности для анализа, на основе которого можно выявлять внутренние тенденции, делать прогнозы, находить новые решения. Это обстоятельство дает возможность реализовать аналитические информационные технологии хранения и использования данных, например, для целей диагностирования технического состояния ДГУ тепловозов на основе математического аппарата аналитической технологии, практически реализующей интеллектуальный анализ данных – ИАД (Data Mining) [13].

Задачей ИАД является поиск функциональных и логических закономерностей в накопленной информации, построение на этой основе моделей и правил, их объясняющих, прогнозирование развития анализируемых процессов.

Интеллектуальный анализ данных – метод, основанный на анализе зависимостей между данными, поиске в данных скрытых закономерностей. Автоматизированный поиск закономерностей выступает отличительной чертой технологии ИАД.

Термогазодинамические параметры дизелей связаны соотношениями, вытекающими из хорошо согласующейся с экспериментом теории. Это обуславливает возможность достаточно строгого математического описания процессов, протекающих в дизеле и его системах, создание и применения диагностических математических моделей для решения задач [14].

В рассматриваемом случае диагностическим параметром может служить эффективность преобразования теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, в работу.

Величину параметра можно определить с помощью условного коэффициента энергетической эффективности (УКЭЭ):

$$\eta_n = Q_T / A, \quad (1)$$

где Q_T – доля теплоты, пропорциональная сгоревшему при совершении работы топливу;

A – выполненная работа.

При контроле работы дизель-генераторной установки под нагрузкой величина Q_T в значительной мере будет соответствовать температуре выпускных газов по цилиндрам, а работа A будет прямо пропорциональна выходной мощности тягового генератора.

Накопление базы данных о параметрах работы ДГУ тепловозов при проведении автоматизированных реостатных испытаний позволяет перейти к косвенной оценке энергетической эффективности ДГУ тепловоза на основе контроля двух диагностических параметров: мощности тягового генератора и температур выпускных газов по цилиндрам дизеля.

Имея набор информации о параметрах работы ДГУ тепловоза при проведении реостатных испытаний, можно приступить к первичной обработке данных и заполнения таблиц для систематизации информации на основе предварительно разработанных форм (рисунок 1).

Протокол реостатных испытаний тепловоза ТЭМ18ДМ 456									
температура окружающего воздуха 10 С°									
барометрическое давление 98.6 (740)кПа (мм.рт.ст.)									
частота вращения вала дизеля на холостом ходу (Nд хх) и под нагрузкой (Nд)									
временный срез при съеме тепловозной характеристики									
позиция КМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Рг,кВт	0	28	80	139	217	324	464	603	744
Nдиз,об/мин	304	301	300	329	399	479	569	649	749
Tц1,С°	294	303	323	343	372	385	404	416	422
Tц2,С°	331	343	630	379	403	410	420	423	417
Tц3,С°	276	287	309	331	364	381	404	419	433
Tц4,С°	282	297	320	349	380	391	411	423	428
Tц5,С°	277	290	313	337	367	382	406	421	426
Tц6,С°	317	331	349	369	391	395	398	406	408
Протокол реостатных испытаний тепловоза ТЭМ18ДМ 543									
температура окружающего воздуха 8 С°									
барометрическое давление 97.8 (734)кПа (мм.рт.ст.)									
частота вращения вала дизеля на холостом ходу (Nд хх) и под нагрузкой (Nд)									
временный срез при съеме тепловозной характеристики									
позиция КМ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Рг,кВт	0	28	110	139	221	327	470	611	751
Nдиз,об/мин	314	299	306	324	395	475	563	649	749
Tц1,С°	226	215	200	212	230	296	345	396	422
Tц2,С°	138	137	137	138	168	242	309	379	416
Tц3,С°	204	197	186	197	227	289	348	410	430
Tц4,С°	198	193	181	198	226	284	337	400	430
Tц5,С°	200	193	184	196	217	279	330	390	414
Tц6,С°	200	183	170	191	226	290	343	399	428

Рисунок 1 – Таблицы выборки экспериментальных данных, полученных при проведении реостатных испытаний тепловозов

При составлении таблиц особое внимание следует обращать на группировку данных о результатах проведенных испытаний в сходных атмосферных (сезонных) условиях.

В качестве примера использованы результаты реостатных испытаний 30-ти тепловозов серии ТЭМ18ДМ.

Статистическая обработка накопленной информации показывает:

1. Дисперсия распределения мощностей ДГУ в пределах $\pm 1,5\sigma$ по позициям контроллера машиниста при работе тепловозов серии ТЭМ18ДМ под нагрузкой (рисунок 2) незначительна, благодаря микропроцессорным системам регулирования – унифицированной системе тепловозной автоматики (УСТА) и электронной системе управления впрыском топлива (ЭСУВТ).

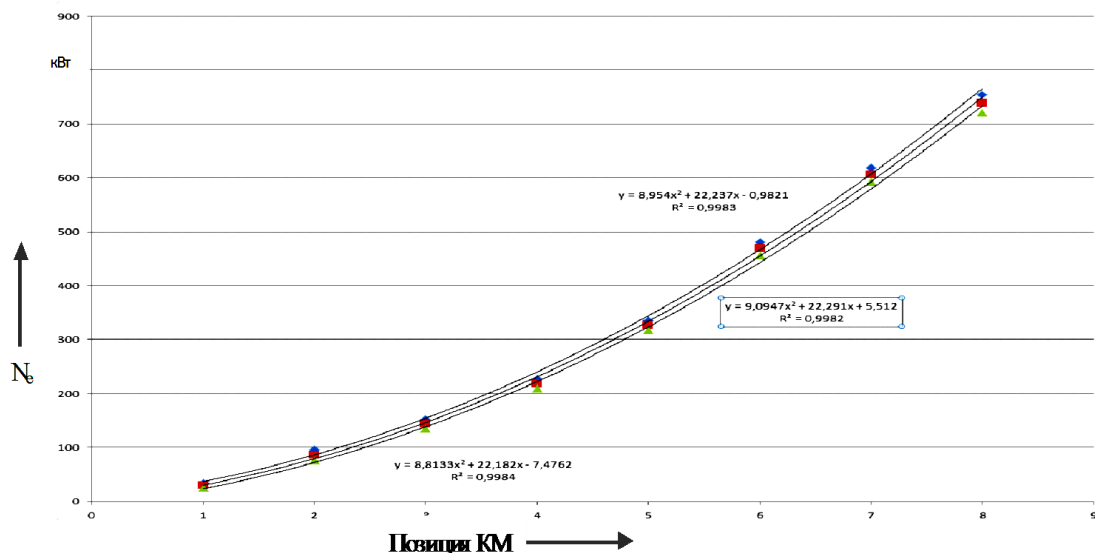


Рисунок 2 – Разброс мощностей ДГУ тепловозов серии ТЭМ18ДМ при реостатных испытаниях

В то время как разброс температур выпускных газов по цилиндрам дизеля по мере уменьшения нагрузки ДГУ неуклонно возрастает (рисунок 3) вследствие потери плотности плунжерных пар ТНВД.

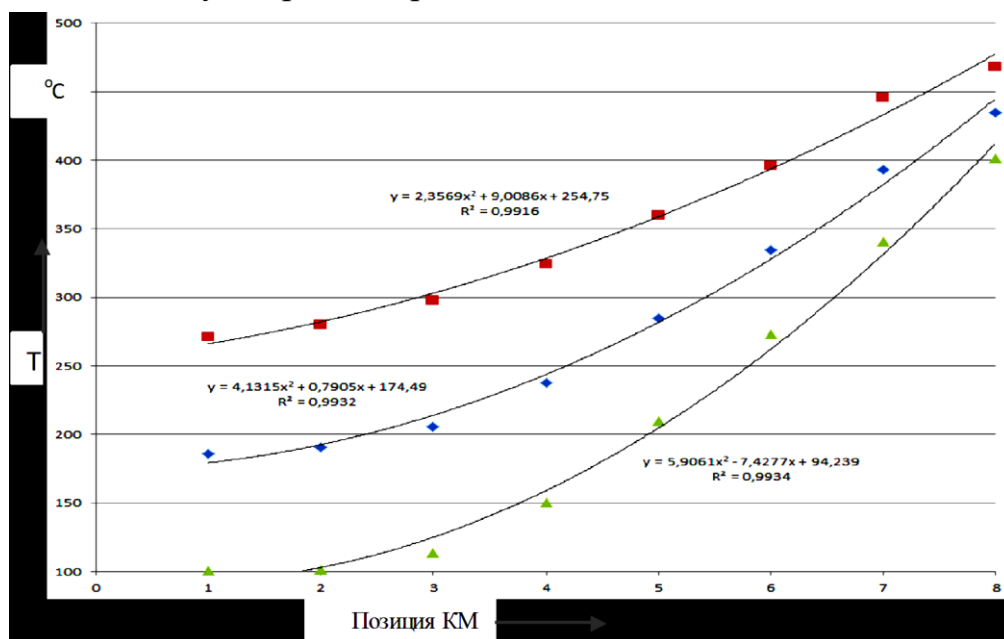


Рисунок 3 – Разброс температур выпускных газов по цилиндрам дизеля тепловозов серии ТЭМ18ДМ при реостатных испытаниях

В предлагаемых обстоятельствах разброс значений условного коэффициента энергетической эффективности q_{η} будет выглядеть следующим образом (рисунок 4).

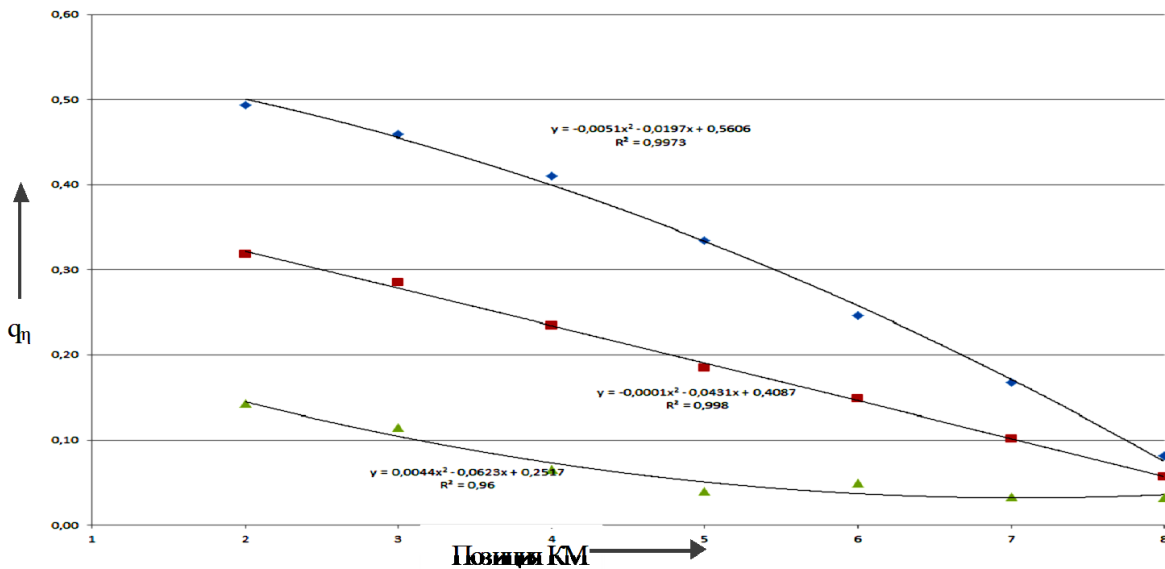


Рисунок 4 – Разброс значений условного коэффициента эффективности q_{η} ДГУ тепловозов типа ТЭМ18ДМ при реостатных испытаниях

Таким образом, на первом этапе повышения энергетической эффективности тепловозов следует стремиться к тому, чтобы все тепловозы, проходящие реостатные испытания, выполнением необходимых регулировок доводились до состояния, не выходящего за границы представленного поля допуска.

При этом используемый при проведении реостатных испытаний оперативный контроль температур выпускных газов по цилиндрам совместно с контролем мощности ДГУ может служить диагностическим коэффициентом текущего технического состояния ДГУ тепловоза.

Итерационный обмен данными предполагает ввод между операциями (математическими моделями) обратных связей, по которым осуществляется обмен корректирующей информацией.

По мере увеличения выборки (количества тепловозов прошедших соответствующие настройки при проведении автоматизированных РИ) необходимо вести анализ полученных результатов, и в некоторый момент времени принять решение о передаче полученных данных на новый цикл – установления обновленного поля допусков для граничных значений условной энергетической эффективности ДГУ. При этом уже на втором шаге итерации, при моделировании обновленных данных о тепловых процессах, будут использованы значения параметров, полученные на первом шаге. Поскольку эти параметры были получены

в результате натурных испытаний, их значения будут приближаться к более высоким показателям энергетической эффективности.

В результате проведенного исследования можно сделать выводы:

- наличие на станциях реостатных испытаний тепловозов автоматизированных систем контроля и испытаний позволяет накапливать информацию о параметрах работы ДГУ при выпуске локомотива в эксплуатацию;
- статистическая обработка полученных при РИ данных о результатах испытаний позволит сформировать «эталонную модель» работы ДГУ под нагрузкой;
- использование полученной «эталонной модели» позволит оценить энергетическую эффективность тепловоза при выпуске его из ремонта;
- используя собранные за определенный период времени данные, и выполняя их анализ с помощью соответствующего программного обеспечения, можно будет проводить исследования влияния технического состояния каждого конкретного тепловоза на его топливную экономичность в эксплуатации.

Список литературы

1. Грищенко, А. В. Аппарат искусственных нейронных сетей для диагностики современного локомотива / А. В. Грищенко, В. В. Грачев, Ю. В. Бабков. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2012. – №7. – С. 36 – 40.
2. Машталер, Ю. А. Как управлять надежностью тягового подвижного состава / Ю. А. Машталер. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2012. – №7. – С. 33.
3. Аболмасов, А. А. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов с использованием бортовых микропроцессорных систем управления / А. А. Аболмасов, В. А. Мельников, И. К. Лакин. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2015. – №2. – С. 4 – 7.
4. Влияние параметрических отказов оборудования тепловоза на его энергоэффективность в эксплуатации / В. А. Перминов, Ю. И. Клименко, В. В. Грачев и др. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2017. – №4. – С. 40 – 41.
5. Грачев, В. В. О достоверности прямых способов оперативного контроля энергоэффективности тепловозов в эксплуатации / В. В. Грачев, А. В. Грищенко, Ф. Ю. Базилевский – Текст : непосредственный // Материалы межд. науч.-техн. конф. «Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век» / Петербургский гос. ун-т путей сообщения. Санкт-Петербург. – 2017. – С. 139 – 140.

6. Бабков, Ю. В. Как оценить энергетическую эффективность отремонтированных тепловозов / Ю. В. Бабков, Ю. И. Клименко, В. А. Перминов и др. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2014. – №4. – С. 30 – 32.

7. Ким, С. И. Передовые технологии производства и технического обслуживания локомотивов / С. И. Ким, В. И. Харитонов, Е. В. Долганова [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vstroennaya-ekspertnaya>

8. Дубровин, В. И. Интеллектуальные средства диагностики и прогнозирования надежности авиадвигателей / В. И. Дубровин, С. А. Субботин, А. В. Богуслаев и др. // Запорожье : ОАО «Мотор-Сич», 2003. – 279 с. – Текст : непосредственный.

9. Лобанов, И. И. Повышение эксплуатационной эффективности тепловозных дизелей применением средств оперативной диагностики /И. И. Лобанов [Электронный ресурс]. Режим доступа:

https://www.mii.ru/content/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82.pdf?id_wm=782293.

10. Белоглазов, А. К. Оценка эффективности работы дизель-генераторных установок по результатам контроля параметров при проведении реостатных испытаний / А. К. Белоглазов, В. Ф. Тарута, В. А. Четвергов, А. В. Чулков – Текст : непосредственный // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2017. – № 2. – С. 2 – 9.

11. Хомич, А. З. Диагностика и регулировка тепловозов /А. З. Хомич, С. Г. Жалкин, А. Э. Симсон и др.– М : Транспорт, 1977. – 222 с. – Текст : непосредственный.

12. Аналитические информационные технологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://studopedia.ru/3_112496_analiticheskie-informatsionnie-tehnologii.html.

13. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике / В. С. Зарубин, А. П. Крищенко.– М : МГТУ им. Баумана, 2001. – 496 с. – Текст : непосредственный

14. Звонарев, С. В. Основы математического моделирования / С. В. Звонарев.– Екатеринбург : Уральский ун-т, 2019. – 112 с. – Текст : непосредственный.

В. А. Павлов, В. В. Кодак, О. А. Шаханин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ТЕПЛОВОЗОВ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И СИСТЕМЫ РЕМОНТА ТЕПЛОВОЗОВ

Статья посвящена оценке надёжности тепловозов 2ТЭ25КМ в двух депо Урало-Сибирского регионов. Приведена статистика отказов оборудования локомотивов по видам оборудования, виды отказов и причины. В конце статьи высказаны предположения о причинах некоторых отказов, а также показаны мероприятия, которые проводятся в депо для предотвращения данных отказов.

Ключевые слова: надёжность, работоспособность, подвижной состав, тепловоз, локомотив, отказ, узел.

Надёжность подвижного состава – один из важных показателей на железной дороге. Данный показатель определяет бесперебойную работу железнодорожной сети, что напрямую влияет на её экономическую эффективность [1, 2].

С 2015 года на сеть железных дорог ОАО «Российские железные дороги», а также ряд других предприятий, эксплуатирующих локомотивы для своей производственной сферы, Брянским машиностроительным заводом поставляются грузовые тепловозы серии 2ТЭ25КМ. Данный локомотив является глубоко модернизированным тепловозом серии 2ТЭ25К, к основным отличиям которого относятся: 16-ти цилиндровый дизель-генератор 18-9ДГ; увеличение количества радиаторных секций холодильника; применение четырех осевых асинхронных вентиляторов холодильника; установление модульной кабины с улучшенной эргономикой, лобовое стекло в которой теперь состоит из двух частей; использование нового винтового компрессорного агрегата; применение унифицированной бесчелюстной тележки, как у тепловоза 2ТЭ116У; применение тяговых электродвигателей постоянного тока большей мощности ДТК-417Ц или ЭДУ-133Ц, а также изменение конструкции рамы кузова и самого кузова под более мощную дизель-генераторную установку, вследствие чего изменено расположение оборудования внутри кузова [3].

Тепловозы серии 2ТЭ25КМ являются новыми локомотивами на железной дороге и изучение их надёжности – это актуальный вопрос, который вызывает интерес. С целью исследования надёжности тепловозов 2ТЭ25КМ сотрудниками кафедры «Локомотивы» «Омского государственного университета путей сообщения» была проделана работа по сбору данных об отказах узлов тепловозов, проходящих сервисное обслуживание в депо «А» и «Б» железных дорог Урало-Сибирского регионов, за период 2024 – 2025 годы. Тепловозы начали обслуживаться в депо с конца 2023 г. Статистические данные об отказах тепловозов 2ТЭ25КМ представлены на рис. 1 и 2, где N – количество отказов.

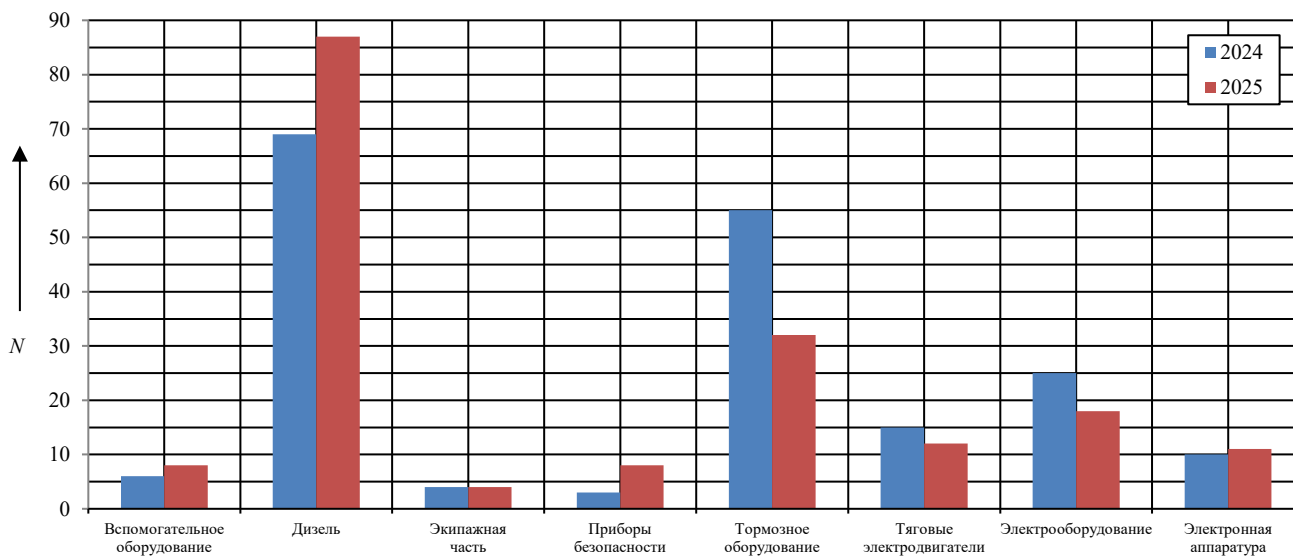


Рисунок 1 – Статистика отказов узлов тепловозов в депо «А»

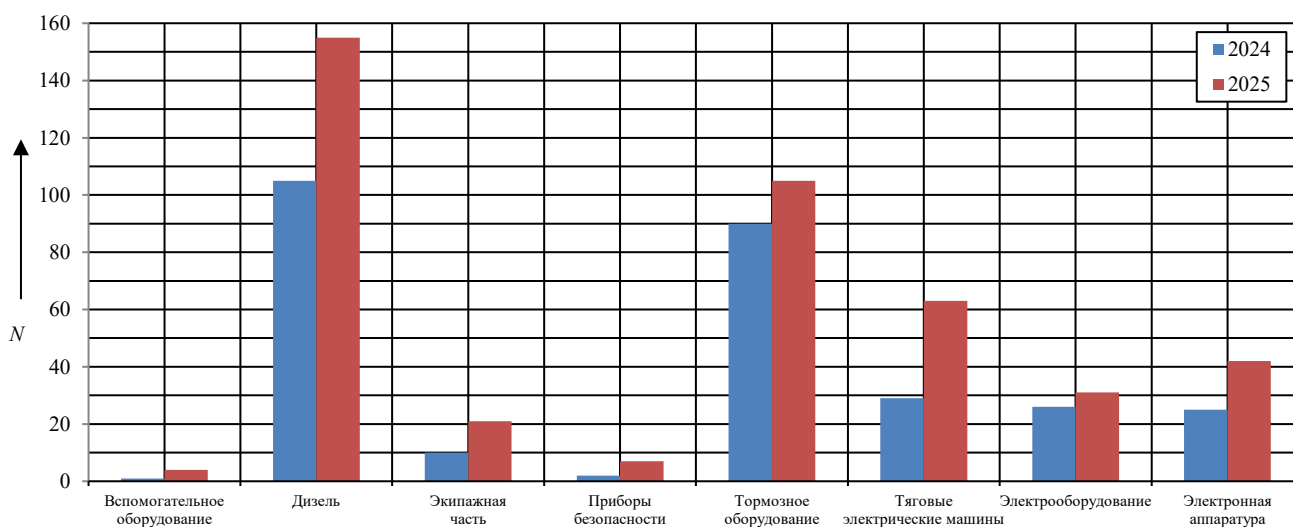


Рисунок 2 – Статистика отказов тепловозов в депо «Б»

Представленные на рис. 1 и 2 гистограммы показывают идентичную картину количества отказов оборудования локомотива по депо, а различия в статистической информации можно объяснить разным количеством эксплуатационного парка тепловозов 2ТЭ25КМ и разным ведением учёта отказов. В 2025 году наблюдается рост отказов в депо «Б» по всем узлам, и по некоторым узлам в депо «А», например, по вспомогательному оборудованию, дизелю, приборам безопасности и электронной аппаратуре. Наибольшее количество отказов наблюдается по дизелям тепловозов и их тормозному оборудованию. Отказы этих узлов локомотивов 2ТЭ25КМ занимают более 60 %. Рассмотрим отдельно данные узлы.

В депо «А» у дизелей наблюдается больше всего отказов по системе охлаждения (рис. 3).

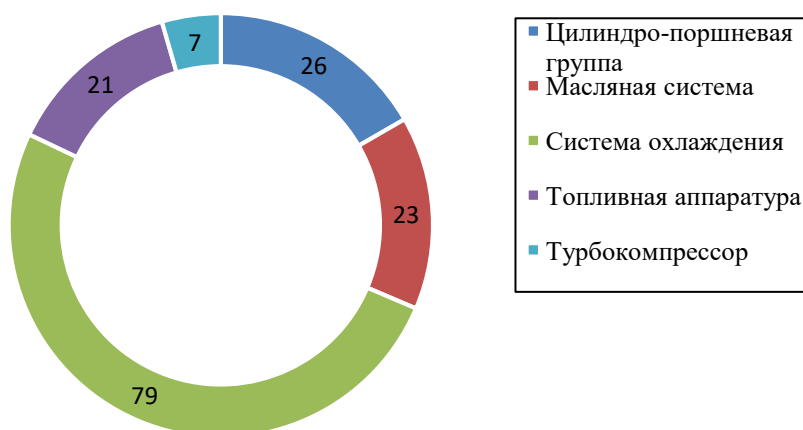


Рисунок 3 – Статистика отказов дизеля тепловоза 2ТЭ25КМ в депо «А»

В системе охлаждения дизеля тепловоза чаще всего отказывают водовоздушные секции радиатора охлаждения (рис. 4). Частой причиной отказов водяных секций охлаждения является коррозия, их низкая проходимость и завоздушивание.

В тормозном оборудовании тепловозов низкую надёжность показывает винтовой пневматический компрессор типа АКВ-4,5/1 (рис. 5). Основной неисправностью пневматического компрессора является постоянный уход масла (рис. 6). Основной причиной ухода масла является течь по масляному фильтру, сепаратору, радиатору компрессора. Большая часть случаев ухода масла неидентифицирована (69 %).

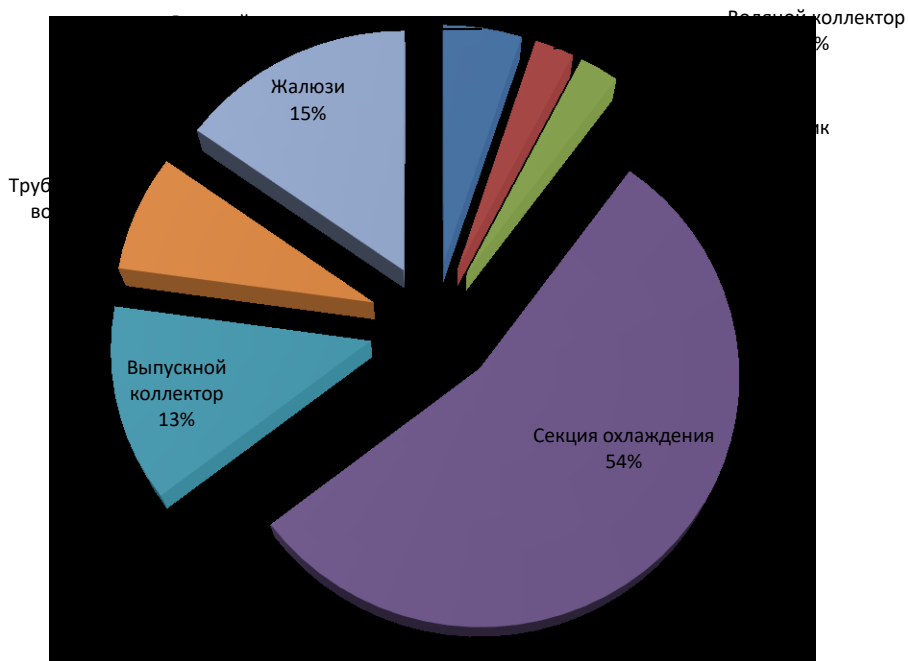


Рисунок 4 – Отказы компонентов системы охлаждения тепловозов 2ТЭ25КМ в депо «А»



Рисунок 5 – Отказы компонентов тормозной системы тепловозов 2ТЭ25КМ в депо «А»

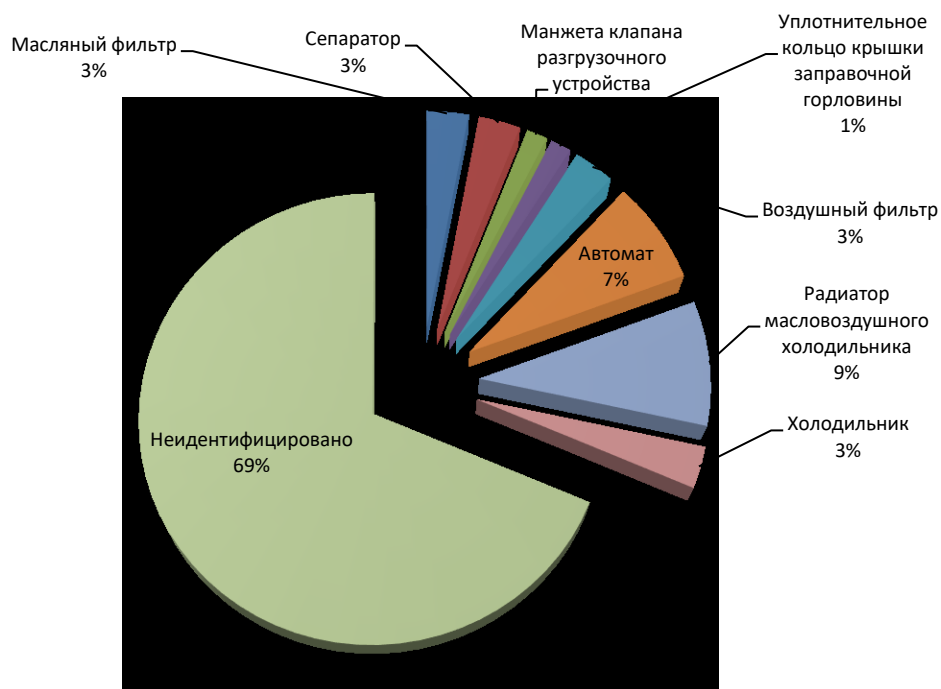


Рисунок 6 – Отказы компонентов пневматического компрессора АКВ-4,5/1 тепловозов 2ТЭ25КМ в депо «А»

В депо «Б» узлы дизелей тепловозов в среднем отказывают в равной степени, менее надёжны выпускной коллектор, система охлаждения и масляный самоочищающийся фильтр фирмы Boll&Kirch (рис. 7).



Рисунок 7 – Статистика отказов дизелей тепловозов 2ТЭ25КМ в депо «Б»

В тормозном оборудовании в депо «Б» наименее надёжным узлом также является пневматический компрессор. Здесь отказы крана машиниста составляют 3%, а остальные 97 % приходятся на компрессор. Пневматические компрессоры тепловозов депо «Б» также подвержены уходу масла, но эта причина в данном депо распределена по оборудованию и объяснена течью масла (рис. 8).

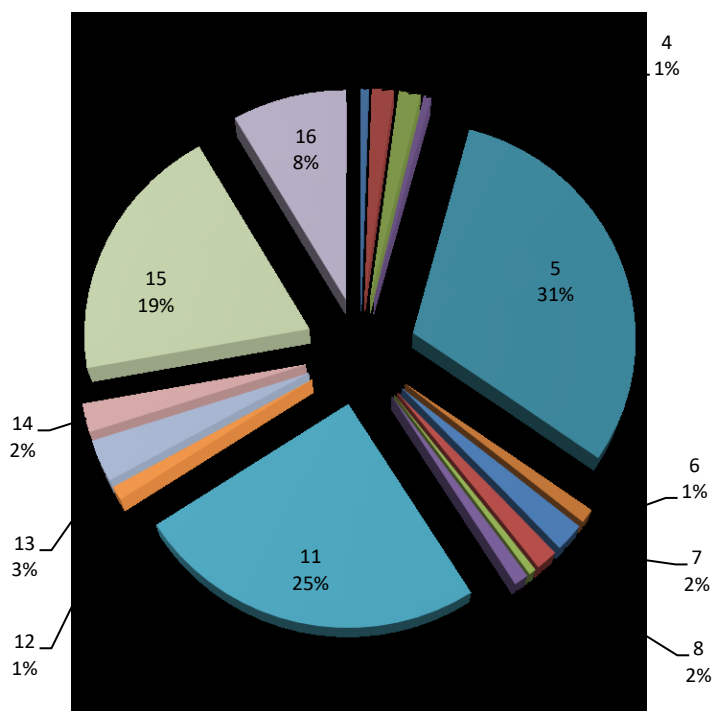


Рисунок 8 – Отказы компонентов компрессора тепловоза 2ТЭ25КМ в депо «Б»:

- 1 – блок всасывающий; 2 – блок защиты системы управления; 3 – датчик реле температуры;
- 4 – диффузор; 5 – клапан разгрузки; 6 – вал; 7 – неработоспособность; 8 – прокладка;
- 9 – провода; 10 – редуктор; 11 – сепаратор; 12 – система управления; 13 – термостат;
- 14 – фильтр всасывающий; 15 – фильтр масляный; 16 – холодильник

Больше всего отказов у клапана разгрузки – 31 %, отказы сепаратора составляют – 25 %, масляного фильтра – 15 % и холодильника – 8 %, в которых самой частой проблемой является течь масла.

Проблему надёжности дизеля можно объяснить наличием большого количества сложных систем. Пневматический компрессор это отдельная система, тем не менее, он является вторым узлом по количеству отказов после дизеля. Предположительно причиной низкой надёжности пневматических

компрессоров может являться использование более дешевого масла марки Cyprrer. Ранее, с момента начала эксплуатации 2ТЭ25КМ, использовалось масло марки Renolin unisin 68 с другими показателями вязкости и более дорогое. Из-за введения санкций использовалось оно не более года, поэтому точно сказать является ли это причиной большого количества отказов нельзя. Но обе марки масла рекомендованы производителем компрессора. Также возможно, что и сама конструкция винтового компрессора является недостаточно надёжной. Для снижения отказов клапана разгрузки в депо «Б» создан стенд для проверки их работоспособности, внесены изменения в технологический процесс их технического обслуживания, а также предлагается внедрение альтернативного разгрузочного клапана.

Проведенный статистический анализ позволяет считать, что для повышения эксплуатационной надежности и работоспособности тепловозов серии 2ТЭ25КМ требуется постоянное совершенствование конструкции узлов автономных локомотивов и развитие методов и средств технической диагностики для более широкого внедрения системы ремонта и технического обслуживания по фактическому состоянию автономного тягового подвижного состава как дополнение к планово-предупредительной системе.

Научный руководитель – А. С. Анисимов, доктор технических наук, директор института наземных транспортных систем, профессор кафедры «Локомотивы» ОмГУПС.

Список литературы

1. Карикян А. В. Повышать надежность парка локомотивов // Локомотив. – 2006. – №7. – С. 2–3 – Текст : непосредственный.
2. Надежность подвижного состава : учебник / В. А. Четвергов, С. В. Швецов, А. А. Воробьев, А. В. Горский – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2017. – 301 с. – Текст : непосредственный.
3. Особенности устройства тепловоза 2ТЭ25КМ : учебное пособие / С. В. Тимофеев – Саратов : РЖД, 2017. – 240 с. – Текст : непосредственный.

СЕКЦИЯ 2: ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 620.9; 621.47

Д. В. Капанина

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

В статье представлена математическая модель для оценки энергетической и экономической эффективности интеграции плоского солнечного коллектора в систему отопления здания. Модель основана на балансовых уравнениях и учитывает климатические параметры, технические характеристики коллектора и объекта теплотребления. Проведен параметрический анализ, определяющий ключевые факторы, влияющие на годовую солнечную фракцию и срок окупаемости системы. Показано, что эффективность применения солнечного коллектора существенно зависит от соотношения площади коллектора, тепловой нагрузки здания и наличия сезонного аккумулятора тепла.

Ключевые слова: солнечное теплоснабжение, плоский коллектор, математическое моделирование, солнечная фракция, экономическая эффективность, срок окупаемости.

1. Введение

Энергообеспечение систем отопления является одной из основных статей расходов в жилищно-коммунальном хозяйстве. Возрастающий интерес к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) актуализирует задачу оценки целесообразности применения солнечных коллекторов (СК) для целей теплоснабжения. [1]

Эффективность подобных решений определяется климатическими условиями, теплотехническими характеристиками здания и параметрами солнечной установки [2]. Целью данной работы является разработка расчетной модели, позволяющей оценить долю покрытия тепловой нагрузки солнечной энергией и определить экономические показатели проекта.

2. Математическая модель системы «Солнечный коллектор – Система отопления»

Модель рассматривает систему «солнечный коллектор – тепло аккумулятор – отопительная нагрузка» во временной дискретизации ($T = 1 \dots N$ дней).

2.1. Модель полезной энергии, производимой солнечным коллектором

Количество полезной тепловой энергии за интервал времени определяется выражением:

$$Q_{sk(t)} = A_{sk} \cdot I(t) \cdot \eta(t), \quad (1)$$

где:

$Q_{sk(t)}$ – полезная энергия, выработанная за интервал t , (Вт·ч или МДж);

A_{sk} – активная площадь коллектора, [м²];

$I(t)$ – суммарная солнечная радиация на плоскости коллектора за интервал t , (Вт·ч/м²);

$\eta(t)$ – текущий коэффициент КПД.

Эффективность плоского коллектора аппроксимируется зависимостью от температурного напора [2]:

$$\eta(t) = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{T_m(t) - T_a(t)}{I} - k_2 \cdot \frac{(T_m(t) - T_a(t))^2}{I},$$

где: $\eta(t)$ – мгновенный коэффициент полезного действия солнечного коллектора;

- η_0 – оптический КПД коллектора;
- k_1 – линейный коэффициент тепловых потерь, Вт/(м²·К);
- k_2 – квадратичный коэффициент тепловых потерь, Вт/(м²·К²);
- $T_m(t)$ – средняя температура теплоносителя, °С;
- $T_a(t)$ – температура окружающего воздуха, °С;
- I – плотность солнечного излучения, Вт/м².

При малых значениях плотности солнечного излучения $I(t)$ или при значительной разности температур между теплоносителем и окружающей средой $(T_m(t) - T_a(t))$ значение коэффициента полезного действия солнечного коллектора, определяемое по выражению (2), может принимать отрицательные значения. В этом случае солнечный коллектор не вырабатывает полезную тепловую энергию и фактически выступает источником тепловых потерь. [2]

В связи с этим в расчётном алгоритме вводится ограничение на величину полезной тепловой мощности солнечного коллектора:

$$Q_{sk}(t) = \max(0, A_{sk} \cdot I(t) \cdot \eta(t)), \quad (3)$$

где $Q_{sk}(t)$ — полезная тепловая мощность солнечного коллектора в момент времени t , Вт; A_{sk} — активная площадь солнечного коллектора, м².

Суммарное количество тепловой энергии, выработанной солнечным коллектором за расчётный период, определяется суммированием по временным интервалам:

$$Q_{sk, total} = \sum_{t=1}^N Q_{sk}(t),$$

где N — количество расчётных временных шагов.

2.2. Модель тепловой нагрузки здания

Годовая или сезонная тепловая нагрузка на отопление может быть определена на основе удельной характеристики здания либо методом градусо-суток. В дискретной форме тепловая нагрузка за расчётный интервал времени t определяется выражением [6]:

$$Q_{load}(t) = (H_{int} + H_{trans}) \cdot (T_{indoor} - T_a(t)) \cdot \tau, \quad (4)$$

где:

$Q_{load}(t)$ тепловая нагрузка за интервал t , Вт·ч;

H_{int} коэффициент теплопотерь на инфильтрацию, Вт/К;

$H_{trans} = \sum_i U_i A_i$ коэффициент трансмиссионных теплопотерь, Вт/К;

U_i коэффициент теплопередачи i -го ограждающего элемента, Вт/(м²·К);

A_i площадь соответствующего ограждения, м²;

T_{indoor} требуемая внутренняя температура воздуха, °С;

$T_a(t)$ температура наружного воздуха в интервале t , °С;

τ длительность расчётного интервала, ч.

Суммарная тепловая нагрузка за отопительный период определяется суммированием по всем временным интервалам:

$$Q_{load, total} = \sum_{t=1}^N Q_{load}(t).$$

2.3. Модель аккумулятора тепла и баланса системы

Поскольку поступление солнечной энергии, как правило, не совпадает по времени с тепловой нагрузкой здания, в модель системы вводится теплоаккумулирующая ёмкость (буферный аккумулятор) объёмом V_b , м³.

Энергетический баланс аккумулятора на интервале времени t описывается уравнением:

$$E_b(t) = E_b(t - 1) + Q_{sk}(t) - Q_{heating}(t) - Q_{loss,b}(t), \quad (5)$$

где: $E_b(t)$ — запас тепловой энергии в аккумуляторе в конце интервала Вт·ч;

$Q_{sk}(t)$ — энергия, поступающая от солнечного коллектора;

$Q_{heating}(t)$ — энергия, переданная из аккумулятора в систему отопления;

$Q_{loss,b}(t)$ — тепловые потери аккумулятора.

Энергия, передаваемая в систему отопления, определяется ограничением:

$$Q_{heating}(t) = \min \left(Q_{load}(t), \frac{E_b(t - 1)}{\tau} \right)$$

Тепловые потери аккумулятора за интервал t определяются выражением:

$$Q_{loss,b}(t) = h_{loss} \cdot (T_b(t) - T_{room}) \cdot \tau,$$

где h_{loss} — коэффициент тепловых потерь аккумулятора, Вт/К.

Связь между запасом энергии и температурой теплоносителя в аккумуляторе описывается соотношением:

$$E_b(t) = c_p \cdot \rho \cdot V_b \cdot (T_b(t) - T_{min}),$$

где c_p и ρ -удельная теплоёмкость и плотность теплоносителя; T_{min} -минимально допустимая температура для работы системы отопления [3].

Ограничения на запас энергии в аккумуляторе имеют вид:

$$E_{b, min} \leq E_b(t) \leq E_{b, max} = c_p \cdot \rho \cdot V_b \cdot (T_{max} - T_{min}).$$

2.4. Критерии эффективности

Солнечная фракция (Solar Fraction, SF) — доля тепловой нагрузки, покрываемая солнечной энергией [7]:

$$SF = \frac{\sum_{t=1}^N Q_{heating}(t)}{Q_{load, total}}. \quad (6)$$

Годовая экономия энергоресурсов определяется как:

$$E_{save} = SF \cdot Q_{load, total} \cdot C_{heat},$$

где C_{heat} — стоимость единицы тепловой энергии от традиционного источника.

Простой срок окупаемости (Simple Payback Period, SPB) рассчитывается по формуле:

$$SPB = \frac{I_0 - S}{E_{save} - O\&M}, \quad (7)$$

где I_0 - капитальные затраты; S -субсидии; $O\&M$ — ежегодные эксплуатационные расходы.

3. Результаты численного моделирования и анализ

Для демонстрации работы модели использован базовый набор параметров, соответствующий климатическим условиям средней полосы России (продолжительность отопительного периода $N \approx 212$ суток):

- $A_{sk} = 15 \text{ м}^2$;
- $\eta_0 = 0,78$;
- $k_1 = 3,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- $k_2 = 0,015 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^2)$;
- $Q_{load, total} = 20000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} (\approx 72 \text{ ГДж})$;
- $V_b = 1000 \text{ л}$.

Климатические данные $I(t)$ и $T_a(t)$ получены из файла типового метеорологического года (ТМУ).

Расчёт по модели (1)–(6) показал, что солнечная фракция составляет $SF \approx 0,25$, то есть около 25 % сезонной тепловой нагрузки покрывается солнечной энергией.

Анализ показал следующее:

- **Площадь коллектора:**

Рост A_{sk} увеличивает SF нелинейно. После достижения 30 м^2 наблюдается насыщение вследствие ограниченной ёмкости аккумулирования.

- **Объём буфера**

Увеличение V_b повышает долю солнечного тепла, однако эффект имеет затухающий характер.

- **Снижение теплопотерь здания**

Наиболее выраженное влияние оказывает уменьшение тепловой нагрузки. При сезонном потреблении $10\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ значение SF приближается к 50 %.

Параметры коллекторов соответствуют нормативам испытаний [3].

4. Обсуждение результатов

Полученные зависимости свидетельствуют о необходимости согласованного проектирования солнечной подсистемы и характеристик здания.

Избыточное наращивание площади коллектора без модернизации теплоизоляции приводит к росту капитальных затрат при ограниченном приросте полезной выработки.

Таким образом, максимальный экономический эффект достигается не при экстремальных значениях отдельных параметров, а при их оптимальном сочетании.

Ограничениями модели являются:

- детерминированный характер расчёта;
- упрощённое описание теплопередачи;
- отсутствие стохастической обработки метеоданных.

5. Заключение

1. Разработанная модель позволяет оценить вклад солнечного коллектора в покрытие тепловой нагрузки здания.

2. В условиях умеренного климата возможно замещение 20–35 % сезонной потребности в тепле.

3. Ключевым фактором повышения эффективности является уменьшение теплопотерь здания и рациональный выбор объёма аккумулятора.

4. Перспективным направлением является многоцелевая оптимизация параметров системы.

Научный руководитель – А. Ю. Финиченко, к.т.н., зав. Кафедрой «Теплоэнергетика» ОмГУПС.

Список литературы

1. Kalogirou, S. A. Solar energy engineering : processes and systems / S. A. Kalogirou. – 2nd ed. – Oxford : Academic Press, 2014. – 760 p.

2. Solar heating and cooling programme. Task reports on solar combisystems. – Paris : International Energy Agency, 2015.

3. ГОСТ Р 54852–2011. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. – Введ. 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2012. – 24 с.

4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : актуализир. ред. СНиП 23-02-2003. – М. : Минрегион России, 2012. – 96 с.

5. Возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / под ред. В. И. Виссарионова. – М. : Изд-во МЭИ, 2010. – 312 с.

6. Соколов, Е. Я. Теплоснабжение : учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – М. : Изд-во МЭИ, 2009. – 472 с.

7. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 12 с.

И. Р. Бархатов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА И ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ

Представлен аппаратно-программный комплекс для регулирования параметров биожидкости в замкнутом перфузионном контуре. Система на базе NI Elvis II с датчиками давления, температуры и расхода управляется из LabVIEW по обратной связи, поддерживая заданные параметры.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс; перфузия; замкнутый контур; LabVIEW; NI Elvis; автоматическое регулирование.

Объектом непосредственного анализа является структурная схема, представленная в составе патента под номером RU2754592C1, который наиболее полно соответствовал целям и задачам настоящего исследования. Изобретение относится к области биотехнологии. [1]

Эксплантированный биологический объект исследования 3 помещали в стерильную термостатируемую камеру 2, соединяли аорту с перфузионной колонкой 5 с помощью канюли 4. Перфузионную колонку с помощью магистралей последовательно соединяли с перистальтическими насосами 6 и 7, обеспечивающих циркуляцию перфузионного раствора. В контур циркуляции вводили датчики давления PI , температуры TI и расхода QI перфузата, сигналы с которых передавались на вход микроконтроллера MCU . В качестве микроконтроллера использовались лабораторные станции типа *NI Elvis II+* или компактные модули *NI mioDAQ USB*, подключаемые к персональному компьютеру PC . В качестве управляющего программного обеспечения использовались виртуальные приборы, разработанные в среде *LabView*. В программном режиме осуществлялось управление подающим перистальтическим насосом 6 (драйвер двигателя MD), при помощи которого поддерживалось необходимое давление и расход. Далее при помощи отводящего

перистальтического насоса 7 экстракорпоральный контур замыкали путем его соединения с резервуаром возврата 1 и термостатируемой камерой 2. Поддержание температуры изолированного биологического объекта исследования и перфузионного раствора в диапазоне, заданном условиями эксперимента, обеспечивали путем помещения магистралей в термоизоляционной «рубашке» индукционного термостата 16 блока контроля температуры. Перфузионный раствор насыщали карбогеном для чего соединяли перфузионную колонку с газовым баллоном 14 и пеноуловителем 11 блока газонасыщения 12. Контроль ритмической функции биологического объекта исследования, купирование брадикардии и фибрилляции желудочков проводились электрокардиостимулятором *ECS* с функцией дефибрилляции, соединенного с миокардом желудочков с помощью игольчатых электродов блока кардиостимуляции. [1]

Конструкция перфузионного модуля (рисунок 1) позволяет регулировать параметры экстракорпоральной перфузии в физиологических диапазонах (таблица 1) [1].

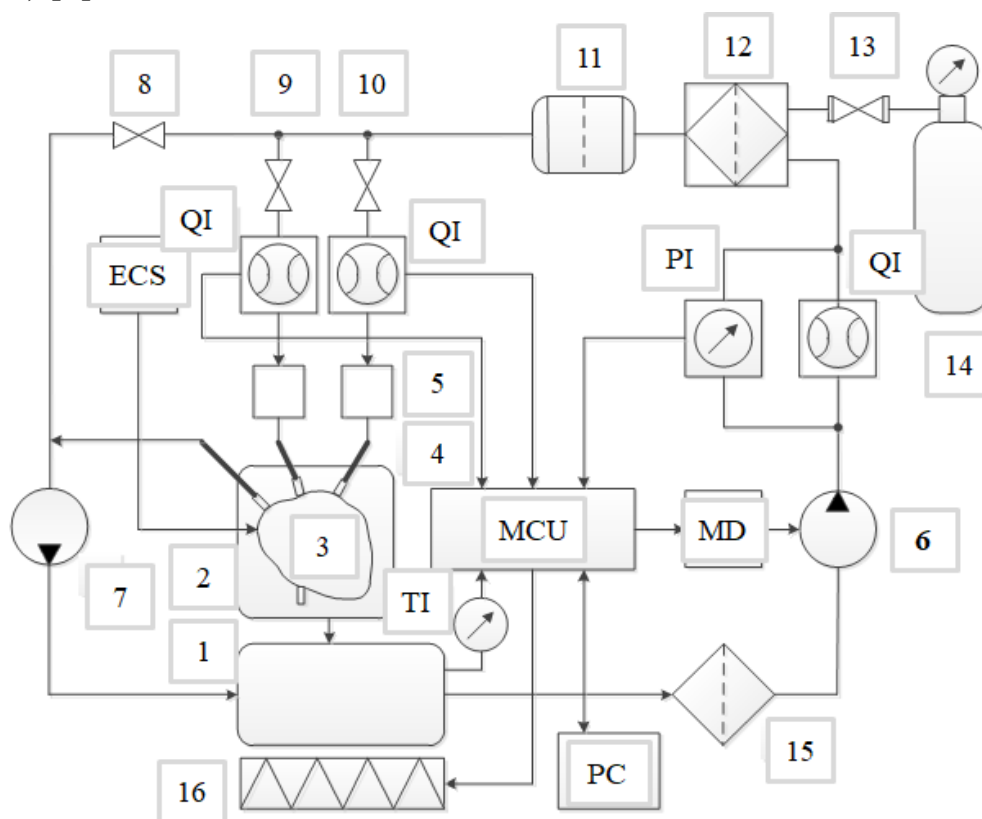


Рисунок 1 – Функциональная схема перфузионного модуля для экстракорпоральной противоишемической защиты биологического объекта исследования

Основные параметры перфузионного модуля для экстракорпоральной
противоишемической защиты биологического объекта исследования

Параметр модуля	Значение
Функционирование	Автономное до 24 ч
Контур	Замкнутый
Насос	Перистальтический
Давление перфузии	Регулировка в диапазоне от 0 до 80 мм рт. ст.
Объемная скорость перфузии	Регулировка в диапазоне от 0 до 20 мл/мин
Управление параметрами перфузии	Автоматическая регулировка в заданном диапазоне
Емкость резервуара возврата	200 мл
Термостатирование	Циркуляционный термостат, диапазон температуры от +4 до +40°C
Электропитание	Автономное, постоянный ток 12 В
Габариты*	220 × 250 × 310 мм
Вес	1,8 кг
Транспортировка	В изолирующем термоконтейнере

Программно-аппаратным комплексом системы выступает микропроцессорный модуль на базе платформы NI Elvis II, к которому подключен массив датчиков: давления, расхода и температуры. [2]

Панель управления рабочей станции содержит ручки управления источниками питания и функциональным генератором сигналов, а также предлагает удобное подключение и функционирование различных приборов. [3]

Схема расположения компонентов на панели управления рабочей станции приведена на рисунке 2.

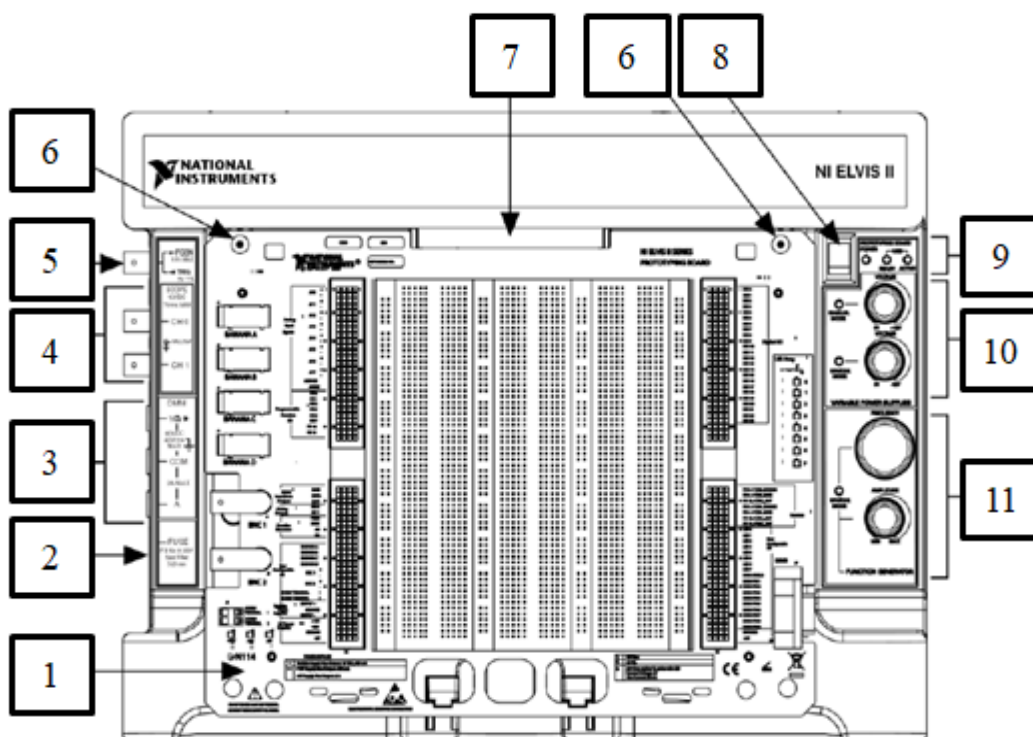


Рисунок 2 – Рабочая станция NI Elvis II с макетной платой. Вид сверху:

1 – макетная плата NI Elvis II; 2 – плавкий предохранитель мультиметра; 3 – клеммы для подключения к мультиметру; 4 – разъемы для подключения к осциллографу; 5 – разъем выхода функционального генератора или входа цифрового запуска; 6 – монтажное отверстие под винт на макетной плате; 7 – разъем для подключения макетной платы; 8 – выключатель питания макетной платы; 9 – световые индикаторы статуса; 10 – элементы управления регулирующими блоками питания; 11 – элементы управления функциональным генератором

Управление реализовано нами в среде графического программирования LabVIEW по идеологии виртуальных приборов. Мы создали интуитивную лицевую панель оператора и сложную блок-диаграмму. Система работает по принципу обратной связи: данные с датчиков в реальном времени анализируются, и управляющие сигналы корректируют работу насосов для поддержания заданных уставок.

На рисунке 3 представлена принципиальная структурная схема (блок-диаграмма), созданная в среде графического программирования Labview. Основное назначение данной диаграммы — визуализация логики управления ключевыми исполнительными устройствами в рамках автоматизированной системы. Схема детально отображает программные алгоритмы и функциональные блоки, которые в совокупности реализуют центральные функции: управление запуском и отключением насосных установок в

гидравлической замкнутой системе, а также регистрация данных с датчиков, для дальнейшего вывода результатов на лицевую панель (рисунок 4) и корректировку работы насосов для поддержания заданных установок.

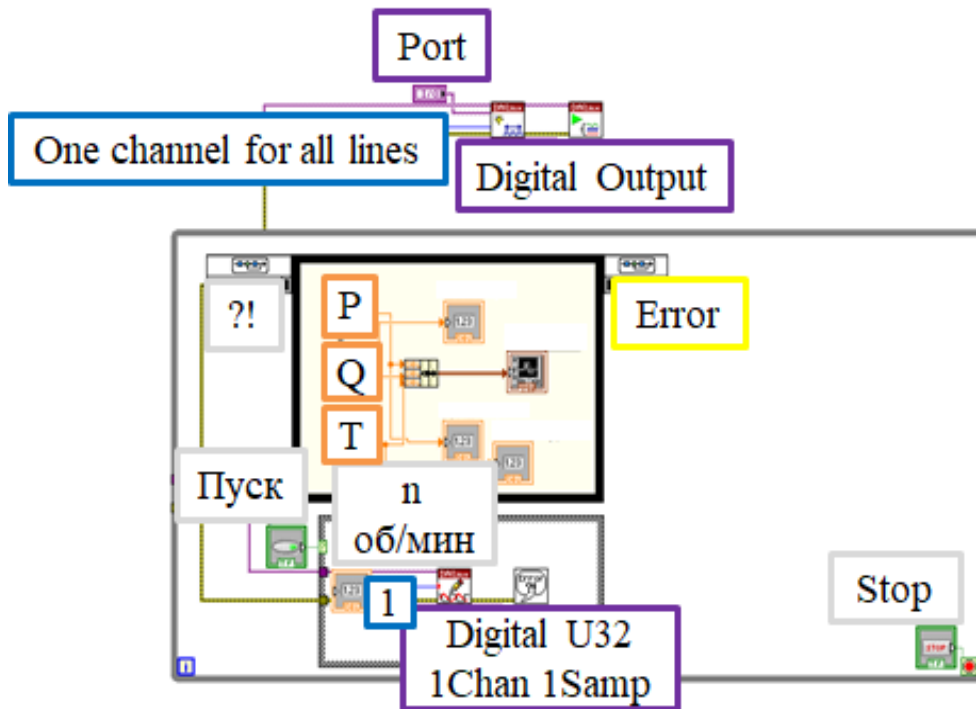


Рисунок 3 – Блок-диаграмма, в программной среде Labview

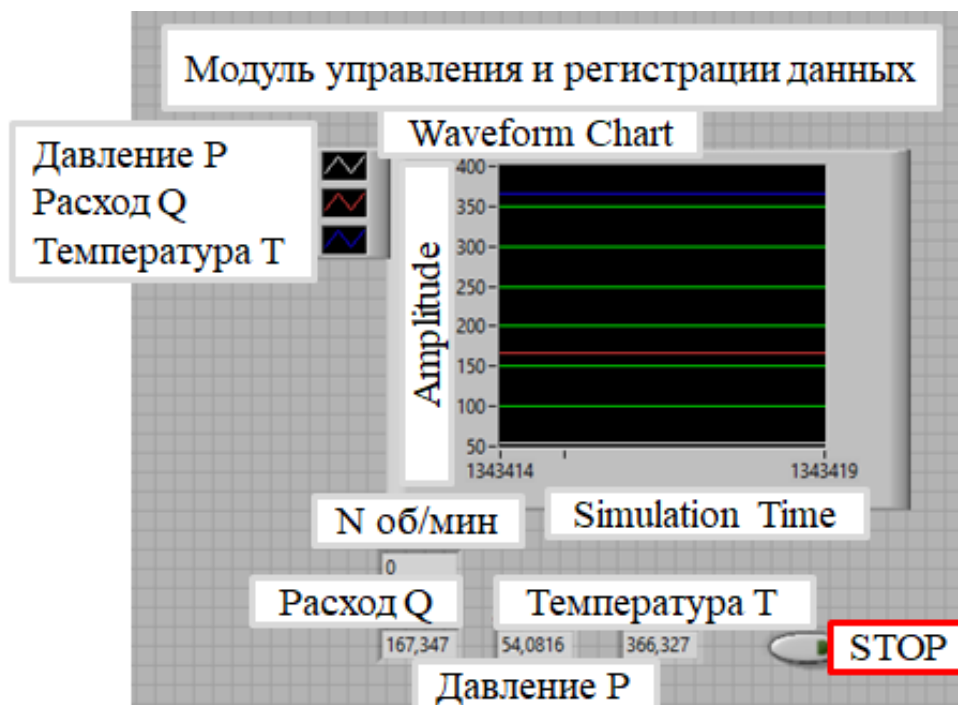


Рисунок 4 – Лицевая панель модуля управления и регистрации данных

Научный руководитель – А. А. Кузнецов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» ОмГУПС.

Список литературы

1. Перфузионный модуль для экстракорпоральной противоишемической защиты донорского сердца в эксперименте / П. А. Ермолаев, Т. П. Храмых, А. А. Кузнецов [и др.]. — Текст : непосредственный // . — Омск : ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России, 2025. — С. 25.

2. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS II Руководство пользователя. — Новосибирск : Новосибирский государственный технически, 2008. — 36 с. — Текст : непосредственный.

3. Баран, Е. Д. Лабораторная Станция NI ELVIS / Е. Д. Баран, Ю. В. Морозов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технически, 2010. — 71 с. — Текст : непосредственный.

УДК 654.94; 681.5

Е. С. Ларин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассмотрены современные методы и средства дистанционной диагностики технического состояния подвижных объектов транспортной инфраструктуры. Проведен анализ существующих систем мониторинга, выявлены их функциональные возможности, ограничения и практические области применения. Особое внимание уделено интеллектуальным методам обработки диагностической информации, включая алгоритмы машинного обучения и нейросетевые модели, а также перспективам их интеграции в системы дистанционного контроля для повышения достоверности и оперативности выявления отклонений.

Ключевые слова: дистанционная диагностика, подвижные объекты, техническое состояние, мониторинг, интеллектуальные методы.

Современное развитие железнодорожного транспорта сопровождается ростом требований к безопасности, надёжности и экономичности эксплуатации подвижного состава. Усложнение конструкций локомотивов и вагонов, увеличение интенсивности перевозочного процесса и переход к цифровым технологиям управления требуют внедрения эффективных систем дистанционной диагностики технического состояния подвижного состава.

Подвижной состав работает в условиях переменных тяговых и тормозных нагрузок, воздействия климатических факторов и естественного износа оборудования. Это затрудняет оперативный контроль состояния с помощью традиционного регламентного обслуживания, что делает методы дистанционной диагностики особенно актуальными. Они ориентированы на непрерывный мониторинг эксплуатационных параметров и раннее выявление предотказных состояний.

Системы дистанционной диагностики подвижного состава классифицируются по типу контролируемых параметров, архитектуре и методам обработки информации. По параметрам выделяют системы для контроля электрических, механических, тепловых и динамических характеристик тягового оборудования, тормозных систем, узлов ходовой части и вспомогательных агрегатов. Практически применяются комбинированные системы, обеспечивающие комплексную оценку состояния подвижного состава.

По архитектуре различают централизованные и распределённые системы. В централизованных системах сбор данных осуществляется бортовыми средствами, а обработка и анализ — на сервере мониторинга. Распределённые системы выполняют часть диагностических алгоритмов на борту, что повышает оперативность выявления неисправностей и снижает нагрузку на каналы связи.

Наиболее распространёнными методами диагностики являются пороговые, основанные на сравнении параметров с нормативными значениями. Эти методы эффективны для систем безопасности, но ограничены выявлением уже сформировавшихся отклонений. Статистические методы анализа временных рядов позволяют отслеживать тенденции деградации оборудования, однако чувствительны к неполноте и зашумлённости данных. Интеллектуальные методы, основанные на машинном обучении и нейросетевых моделях, получают всё большее распространение. Они позволяют восстанавливать недостающие

диагностические параметры и формировать интегральные оценки состояния при неполных измерениях.

Техническая основа систем дистанционной диагностики включает бортовые измерительные комплексы с датчиками тока, напряжения, температуры, вибрации и ускорения, а также вычислительные и коммуникационные модули. Передача данных осуществляется по беспроводным каналам, включая сотовые сети, специализированные радиоканалы и локальные технологии Wi-Fi.

Важное направление развития связано с интеграцией навигационных средств для учёта пространственно-временных параметров движения и применением оптико-электронных систем для визуального контроля состояния подвижного состава и действий локомотивной бригады. Алгоритмы автоматического обнаружения и сопровождения объектов повышают эффективность мониторинга и анализа.

В работе Короткого А. А., Демьянова А. Ан. и Демьянова А. Ал. рассматривается адаптивная система дистанционного мониторинга на примере тягового подвижного состава. Концепция «умного локомотива» объединяет аппаратные и программные средства для сбора, передачи и анализа данных в реальном времени, включая информацию с локальных устройств безопасности («БОРТ», «КЛУБ», «САУТ», «БЛОК») и сенсоров на локомотиве. Программное обеспечение использует алгоритмы машинного обучения и элементы искусственного интеллекта для оценки риска отказов, прогнозирования вероятности неисправностей и формирования рекомендаций по техническому обслуживанию. Интеграция человеческого опыта и знаний персонала повышает достоверность диагностики в сложных эксплуатационных ситуациях.[1]

Система позволяет формировать планы технического обслуживания, проверять работоспособность всех узлов, фиксировать нарушения нормативов и прогнозировать аварийные ситуации в режиме реального времени с визуализацией уровня риска через цветовую шкалу. Такой подход обеспечивает превентивное обслуживание, сокращает количество отказов и аварий, уменьшает трудозатраты и численность персонала, а также повышает общую безопасность движения. Универсальность системы подтверждается успешным применением не только к тяговому подвижному составу, но и к пассажирским вагонам, мотор-вагонным составам, тяжёлым путевым машинам и подъёмно-

транспортному оборудованию.

Ранее в журнале «Наука и инновации» рассматривались системы дистанционного мониторинга на основе GPS/ГЛОНАСС и беспроводных каналов передачи данных. Типовая архитектура включала бортовые навигационно-измерительные модули и централизованный центр обработки информации, обеспечивающий сбор, хранение и визуализацию данных в онлайн- и офлайн-режиме. Примером является устройство «АГЕНТ В-602», регистрирующее координаты, скорость, направление движения и эксплуатационные параметры. Встроенные алгоритмы предварительной обработки телеметрических данных повышают точность восстановления траектории и снижают объём передаваемой информации. Однако возможности таких систем ограничены сбором и передачей данных, без глубокого анализа и прогнозирования отказов.[2]

В ряде современных исследований также рассматриваются системы дистанционного мониторинга технического состояния подвижного состава, основанные на передаче диагностической информации по беспроводным каналам связи. Основное внимание в данных работах уделяется архитектуре мониторинговых систем, выбору и обоснованию каналов передачи данных, а также оценке их надёжности и пропускной способности в условиях движения железнодорожного подвижного состава. Как правило, предлагается многоуровневая структура, включающая бортовые средства сбора данных, беспроводную сеть передачи информации и центры обработки и анализа.

В качестве каналов связи рассматриваются радиосвязь, сотовые сети и беспроводные технологии ближнего радиуса действия, включая Wi-Fi. Для оценки эффективности таких систем вводятся критерии доступности, оперативности и качества передачи данных, анализируется влияние помех, подвижности объекта и условий распространения радиосигналов. Экспериментальные исследования подтверждают принципиальную возможность применения беспроводных сетей для передачи диагностической информации в реальных условиях эксплуатации железнодорожного подвижного состава.[3]

Анализ существующих подходов показывает, что, несмотря на развитую телекоммуникационную и аппаратную часть, вопросы моделирования состояния локомотива и алгоритмической обработки диагностических данных изучены

недостаточно. Большинство систем ограничивается контролем отдельных параметров и фиксацией отклонений по порогам, что снижает возможности раннего выявления потенциальных отказов, особенно при неполных или асинхронных данных.

В связи с этим актуальной становится задача создания моделей и алгоритмов дистанционной диагностики, способных интеллектуально анализировать поступающую информацию и прогнозировать возможные отказы. Такой подход позволяет перейти от простого мониторинга к комплексной оценке состояния подвижного состава, создавая интеллектуальные системы превентивного обслуживания, которые повысят безопасность и надёжность эксплуатации железнодорожного транспорта.

Научный руководитель – Е. Д. Бычков, доктор технических наук, доцент кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети», ОмГУПС.

Список литературы

1. Короткий А.А., Демьянов А. А., Демьянов А. А. Система дистанционного мониторинга технических объектов. // МИР ТРАНСПОРТА, том 18, № 5, С. 110–121 (2020).
2. Стецко И.Т., Шандицев А.Е., Тягунов О.Л., Лазурин С.А., Конопелько А.В. - Спутниковая система мониторинга подвижных объектов // Научно-исследовательская лаборатория информационно-измерительных систем) — научное подразделение факультета радиофизики и электроники Белорусского государственного университета (БГУ).
3. Левшунов, В. В. Эффективность беспроводных технологий для технического мониторинга на железнодорожном транспорте/ В.В. Левшунов, Л.М. Журавлева, Д.А. Рыжков, М.А. Нилов – Проектирование и технология электронных средств. – 2022. – №1. – С.3–8.
4. Левшунов, В. В. Система мониторинга подвижного состава и инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе беспроводных технологий / Л.М. Журавлева, В.В. Левшунов, Д.А. Рыжков, М.А. Нилов.
5. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи [Текст] / Ю.А. Громаков. – М.: Эко-трендз, 2000. – 239 с.

М. И. Захаров

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ СИСТЕМ САМОЗАПУСКА СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Рассмотрена актуальность проблемы систем самозапуска. Отмечено, что в последние годы проблема перебоя или отключения напряжения приобретает особую актуальность в связи с износом оборудования. Рост аварий в энергосистемах обуславливает необходимость детального изучения способов самозапуска синхронных электродвигателей. Сложившаяся в настоящее время ситуация в области электроэнергетики требует новых подходов к решению. В результате проведенного анализа было выявлено, что все системы самозапуска работают в случае кратковременных проблем с электроэнергией и поставлена задача разработки системы самозапуска синхронных электродвигателей при отключении электроэнергии или возможных перебоев.

Ключевые слова: синхронный двигатель, электрические сети, самозапуск, системы, короткое замыкание.

По данным портала Россети (главный поставщик электроэнергии в России) в период с января 2025 года по 31 декабря 2025 года на территории Омской области произошло 1648 аварийных отключений (АО) [1]. Если же взять статистику за 2025 год в целом по стране, то можно увидеть, что число АО составило 28950 шт. Министерство Энергетики выделило 27 регионов с высоким риском перебоя электроэнергии и возможными АО в период с 2025 по 2027 год.

Причиной перебоя или отключения электроэнергии является плохое состояние электрических сетей, требующее модернизации и ремонта. По данным портала Россети наибольшую часть неисправностей во время АО фиксируют на устройствах трансформации и передачи электроэнергии.

С ростом числа потребителей и увеличения мощностей синхронных двигателей (СД) оказывается недостаточно использования групповых или распределительных сетей, к которым подключено несколько потребителей одновременно с электродвигателем. Таким образом, большинство СД подключают к выделенной на подстанции питающей сети.

Надёжность источников генерации, трансформации и передачи электроэнергии напрямую влияет на ресурс СД, а также на работу предприятий в целом.

Возникновение неисправностей на участке питающей сети, к которой подключен электродвигатель, приводит к его выходу из синхронизации и последующей остановке.

Для пуска СД, когда произошло АО, используют специальную систему самозапуска. Основная задача произвести запуск без участия человека. Используемый метод позволяет произвести пуск только в том случае, если сработала система защиты и отключение электроэнергии не превышает 0,5 с.

Для решения обозначенной проблемы необходимо проанализировать существующие способы самозапуска и разработать устройство пуска, в котором отсутствуют выявленные в других устройствах недостатки.

Таким образом, анализ систем самозапуска синхронного двигателя является актуальной задачей для научных исследований.

Самозапуск это способ восстановления нормальной работы привода, в котором установлен СД при пониженном напряжении или его кратковременном отсутствии без участия человека.

Рассмотрим один из таких способов [2]. На рисунке 1 представлена структурная схема защиты и самозапуска СД, которая состоит из следующих компонентов: обмотка якоря СД 1, которая питается от шины или шин подстанции 2.

К шинам подключаются элементы защиты (ЭЗ) 3, 4 которые могут быть оборудованы выдержкой времени. К ЭЗ подключается трансформатор 5, на котором производится измерение напряжения с помощью измерительного органа, представляющего собой вольтметр (ИЗ) 6. С помощью замеров производится отключение СД при пониженном напряжении в случае, если его недостаточно для самозапуска.

К ИЗ подключена катушка реле выдержки времени 7, а к нему блок ресинхронизации 8 соединённый с обмоткой возбуждения СД 10 через возбудитель 9.

Принцип работы схемы заключается в том, что, когда напряжение на ЭЗ опускается до минимума, при котором СД находится в синхронизации, ИЗ запускает реле выдержки времени.

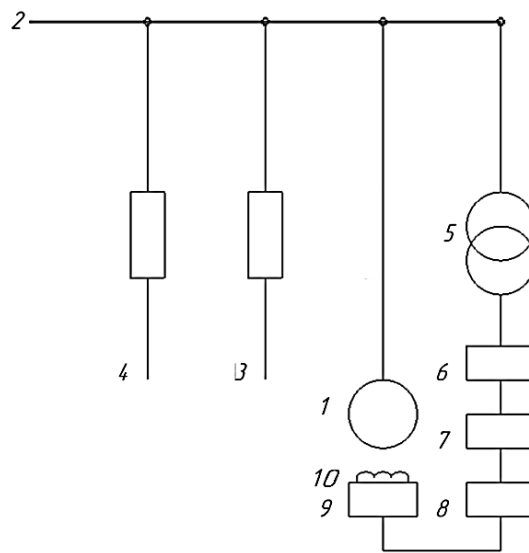


Рисунок 1 – Действующая структурная схема защиты и самозапуска синхронного двигателя

Как процесс будет развиваться далее зависит от того, на каком ЭЗ произошло замыкание. Если это элемент 3, имеющий выдержку времени порядка 0,5 с, то СД выводится из синхронизма после выдержки времени на элементе 7, которая составляет порядка 0,2 с. Когда короткое замыкание пропадает, осуществляется самозапуск СД в асинхронном режиме с последующей подачей возбуждения.

Если к. з. происходит на линии с элементом 4, не оснащенным выдержкой времени, то ввиду наличия выдержки времени, обеспечиваемом элементом 7, отключения СД не происходит. Таким образом, происходит защита от излишних случаев ресинхронизации при быстром восстановлении напряжения питания.

Рассмотрим следующую схему самозапуска группы синхронных двигателей посредством переключения электрических сетей [3]. Во время отключения электроэнергии или короткого замыкания на линиях, к которым подключены группы СД, возможна нежелательная остановка двигателей. Такое действие может привести к нарушению производственного процесса. Для решения возникающей проблемы используется система самозапуска СД посредством переключения электросетей.

На рисунке 2 представлена структурная схема защиты и самозапуска СД, которая состоит из следующих компонентов: источники питания 1,2 которые подключены к шинам, напряжение которых 110 кВ. К источникам питания подключены понижающие трансформаторы 7,8 к подсоединены вводные выключатели 3,4. Выключатели подсоединены к отдельным секциям шин и блоку

управления 19. К шинам подсоединены выключатели нагрузки и датчики аварийного режима 20,21. Датчики соединены с блоками выделения первой гармонической составляющей 23, 24 и блоком самозапуска 25. К блокам гармонической составляющей подключён блок изменения фазового рассогласования 22. К блоку фазового рассогласования подключен блок управления, который управляет выключателем в форме биполярного блока тиристоров 18 и секционный выключатель 17.

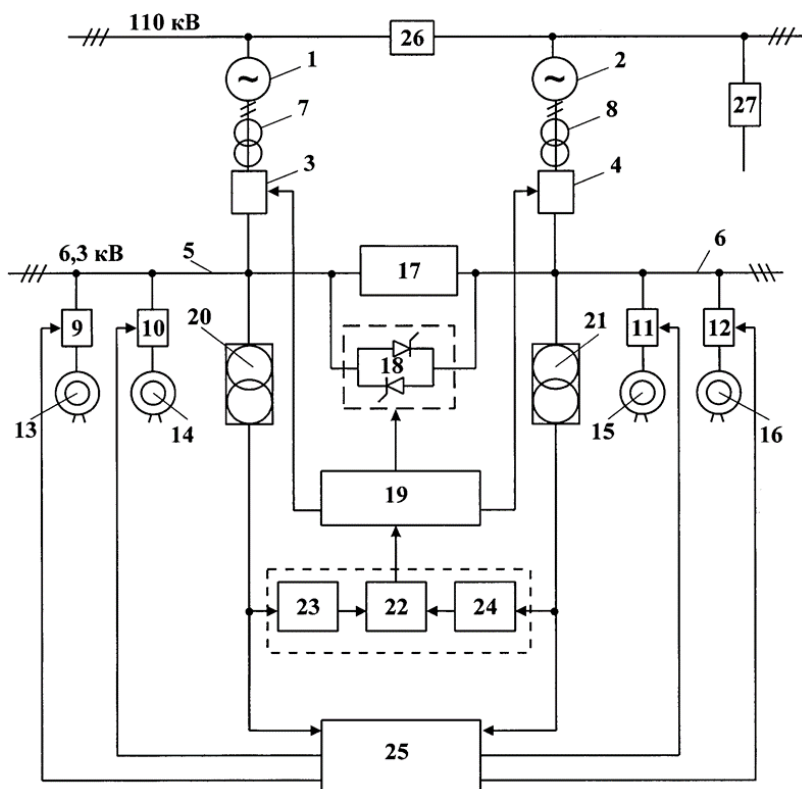


Рисунок 2 – Действующая структурная схема защиты и самозапуска синхронного двигателя

Принцип работы схемы заключается в том, что, когда на шине напряжением 110 кВ. происходит короткое замыкание или она обесточена возникает фазовое рассогласование между напряжением сети и ЭДС двигателя, который начинает работать в генераторном режиме. Срабатывает датчик аварийного режима.

Сигналы с датчиков поступают на блоки выделения первой гармонической составляющей, где: выполняется разложение напряжения в ряд Фурье и выделяется первая гармоническая составляющая напряжения — очищенная от высших гармоник и не симметрий.

Выделенная первая гармоника поступает на блок измерения фазового рассогласования который определяет угол сдвига фаз между первыми гармоническими прямой последовательности напряжений секций шин и передаёт информацию об угле сдвига на блок управления. Если угол сдвига превышает заданную уставку, блок управления подаёт сигнал на отключение вводного выключателя повреждённого источника и одновременно подаёт команду на биполярный блок тиристоров для фазового регулирования.

Тиристоры обеспечивают точное включение нагрузки в пределах допустимого угла сдвига фаз, что позволяет: избежать бросков тока, обеспечить плавный переход на резервное питание, сохранить работу синхронных двигателей без гашения поля.

Секционный выключатель шунтирует биполярную группу тиристоров, обеспечивая стабильное питание. Таким образом происходит самозапуск группы синхронных двигателей посредством переключения электрических сетей.

Анализ показал, что современные системы самозапуска не позволяют в случаях длительного отсутствия напряжения в сети производить пуск без участия человека. Поставлена задача разработки системы самозапуска синхронных электродвигателей при отключении электроэнергии или возможных перебоев.

Научный руководитель – Д. И. Попов, профессор кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС.

Список литературы

1. Российские сети: официальный сайт — Москва, 2026. — URL: <https://www.rosseti.ru> (дата обращения: 27.01.2026).
2. А. с. № 1460764 СССР, МПК H02P1/50. Способ самозапуска синхронного двигателя: № 4096742: заявлено 13.11.1988: опубликовано 23.02.1989 / Баласаян В. С., патентообладатель Армянское отделение государственного проектного института электропроект.
3. Патент на полезную модель № 208087 U1 Российская Федерация, МПК H02J 9/06. устройство для автоматического включения резерва : № 2021118759 : заявл. 28.06.2021 : опубл. 01.12.2021 / Н. В. Соколов, К. А. Дузенко, А. А. Душенков ; заявитель Акционерное общество «Научно-технический центр «РИФ».

Н. С. Бойков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г.Омск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ГРЕБНЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ 2ЭС6

Выполнен факторный статистический анализ и рассмотрены основные причины износа гребней колесных пар электровозов серии 2ЭС6 по материалам предоставленным компанией ООО «СТМ-Сервис» СЛД «Московка». Обозначены вероятные причины неравномерного или одностороннего износа гребней по сторонам колесных пар. Предложены мероприятия по повышению надежности локомотивов нового поколения.

Ключевые слова: электровоз 2ЭС6, износ гребня, бандаж, колесная пара.

Грузовые электровозы серии 2ЭС6 приписки эксплуатационного локомотивного депо Омск Западно-Сибирской дирекции тяги обслуживают грузовое движение на электрифицированных полигонах постоянного тока Урало-Сибирского региона, включающего Западно-Сибирскую, Свердловскую и Южно-Уральскую железные дороги, с различным качеством пути (множество ограничений по скорости), включая участки со сложным профилем и планом, значительные тяговые усилия, что приводит к повышенным боковым силам и проскальзываниям в контакте «колесо - рельс».

Электровоз серии 2ЭС6 характеризуется высокими тяговыми усилиями, передавая их через наклонные тяги к кузову, что предположительно приводит к повышенному боковому давлению в кривых и, как следствие к ускоренному неравномерному изнашиванию гребней колесных пар.

Рассмотрим эксплуатационные данные предоставленные компанией ООО «СТМ-Сервис» СЛД «Московка» о техническом состоянии колесных пар (таблица 1).

Анализ технического состояния колесных пар электровозов серии 2ЭС6
приписки эксплуатационного локомотивного депо Омск

Год	Припис- ной парк электро- возов, ед.	Линейный пробег, км	Пробег колесных пар между обточками, тыс.км	Интенсив- ность износа гребней бандажей, мм/10т. км	Средний ресурс бандажа тыс. км	Количество обточек колесных пар, ед.	Количество обточек колесных пар на один электровоз, ед.
2022	250	53020000	66,2	0,503	534	6407	25,6
2023	250	49470000	62,9	0,581	518	6292	25,2
2024	250	45620000	64,3	0,609	515	5680	22,7
2025	250	43870000	56,9	0,640	547	3089	12,4

Пробеги электровозов серии 2ЭС6 приписного парка ТЧЭ-2 Омск за 12 месяцев 2025 года составили 43,87 млн. км, против 45,62 млн. км за такой же период 2024 года, что на 3,8% меньше аналогичного показателя за прошлый год.

Количество обточек колёсных пар за 12 месяцев 2025 года было выполнено 3089 против 5680 за такой же период 2024 года, снижение составило 45,6%. Средний ресурс бандажа в 2025 году увеличился до 547 тыс.км, что в сравнении с 2024 годом выше на 5,8%.

Наблюдается существенный рост обточек, в сравнении с 2025 годом, у рассматриваемых предыдущих годов, что связано с переходом на профиль ГОСТ (восстановление толщины гребней бандажей до 27,5 - 28,5 мм), поэтому в четвёртом квартале 2024 года было принято решение о переходе на профиль ДМеТИ, что оказало в 2025 году существенный эффект в части снижения количества обточек колесных пар.

Проанализируем какие произошли изменения с обточками колесных пар у электровозов серии 2ЭС6 с 2022 года по 2025 год (таблица 2). Наблюдаются три ведущие причины с выявленной тенденцией к росту количества обточек колесных пар, такие как износ гребня, выщербины и остроконечный накат.

Сопоставляя анализируемые года, очевидно прослеживается снижение случаев предельного изнашивания гребней колесных пар в 2025 году с 2022 годом на 3434 случая или 66,6%, с 2023 годом на 3464 случая или 66,6%, с 2024

годом на 2481 случай или 58,8%. Необходимо отметить, что в 2025 году осуществляется значительная смена колесных пар на полнобандажные с толщиной гребня 33 мм, а также проводится их упрочнение (снижение стартового интенсивного изнашивания гребней), что увеличивает пробег между обточками бандажей колесных пар.

Таблица 2

Статистика дефектов колесных пар электровозов серии 2ЭС6

Статистика дефектов колесных пар	2022	2023	2024	2025
Количество обточек	6407	6292	5680	3046
Износ гребня	5166	5196	4213	1732
Прокат	0	1	0	0
Ползуны	7	8	15	13
Разность диаметров	49	4	6	4
Выщербины	379	485	780	501
Остроконечный накат	786	576	633	528
Прочие причины	20	22	33	268

Выщербина это симптом контактно-усталостного или ударного разрушения поверхности катания колеса, ее появление сигнализирует о серьезных динамических проблемах. В 2024 году в связи с этим наблюдается увеличение количества обточек в сравнении с 2022 годом на 401 случай или на 51,4%, с 2023 годом на 295 случаев или на 37,8%, с 2025 годом на 279 случаев или на 35,7%. Для снижения возникновения выщербин необходим комплекс мер: контроль профиля, поддержание состояния пути, управление тяговыми усилиями.

Остроконечный накат сопровождается локальным выкрашиванием, трещинами на поверхности катания или на гребне колеса возникающего в результате неравномерного изнашивания в контакте «колесо - рельс». В 2025 году наблюдается снижение количества обточек по этой причине, в сравнении с рассматриваемыми предыдущими годами, в связи с введением инструкции №805р, классифицирующей данную причину наплывом металла на вершине гребня (не является обязательной причиной обточки).

Прослежена вся совокупность непосредственных и опосредованных взаимосвязей интенсивного изнашивания бандажной стали у электровозов рассматриваемой серии на основании выполненного сбора информации из журнала ТУ–17, а по системе дислокации АСУТ–Т установлена их эксплуатация по полигонам обращения было установлено, что наибольшее количество обточек приносят одни и те же колесные пары с наихудшими условиями работы в тележках одних и тех же электровозов.

Таблица 3

Односторонний износ гребней колесных пар электровоза
серии 2ЭС6 №319

319	05.11.2025		29.12.2025		Износ, мм за 32,5 тыс км пробега		Средняя интенсивность износа мм / 10 тыс.км пробега
	КП	Гребень, мм		Гребень, мм			
1	30,5	29,0	28,0	23,0	2,5	6,0	<u>0,72</u>
2	30,0	29,0	29,0	25,5	1,0	3,5	
3	30,5	29,5	29,0	29,0	1,5	0,5	
4	31,0	29,0	30,0	26,0	1,0	3,0	
5	30,0	31,0	28,0	30,0	2,0	1,0	
6	27,5	28,0	27,0	27,0	0,5	1,0	
7	29,0	30,0	25,0	29,5	4,0	0,5	
8	29,5	31,0	27,0	30,0	2,5	1,0	
Суммарный износ гребней, мм					15,0	16,5	31,5

Данный анализ предоставляет возможность предположить, что одностороннее и неравномерное изнашивание гребней бандажей колесных пар проявляется не систематически (таблица 3), а точно и индивидуально для каждого электровоза серии 2ЭС6, нежели сказать об интенсивности их изнашивания. Следовательно, при производстве среднего ремонта локомотивов с односторонним износом колесных пар отдельных тележек, не было соблюдено требование нормативных документов и чертежей по подбору жесткости и установке пружин кузовного подвешивания, а также проверке геометрии тележек и развеске кузовов.

Независимо от внедрения передовых конструктивных решений и материалов, рассматриваемая серия элетровозов сталкивается с интенсивным изнашиванием гребней (таблица 4), что приводит к значительному сокращению межремонтных пробегов, увеличению эксплуатационных расходов и потенциальным рискам для безопасности движения.

Выявлены неоднократные случаи интенсивного изнашивания гребней у отдельных колесных пар некоторых электровозов после их упрочнения, пример одного из них представлен в таблице 5.

Таблица 4

Преждевременное интенсивное изнашивание гребней колесных пар электровоза серии 2ЭС6 № 493

493	29.01.2025		30.03.2025		Износ, мм за 32,5 тыс км пробега		Средняя интенсивность износа мм / 10 тыс.км пробега
	Гребень, мм		Гребень, мм				
1	30,0	30,0	25,0	27,0	5,0	3,0	1,08
2	30,0	30,0	25,5	26,5	4,5	3,5	
3	30,0	30,0	27,0	25,0	3,0	5,0	
4	30,0	30,0	23,0	27,0	7,0	3,0	
5	30,0	30,0	26,0	27,0	4,0	3,0	
6	30,0	30,0	26,0	26,5	4,0	3,5	
7	29,0	28,0	28,0	27,0	1,0	1,0	
8	28,5	27,5	27,0	27,0	1,0	1,0	
Суммарный износ гребней, мм					29,5	23,0	52,5

В 2025 году в условиях компании ООО «СТМ-Сервис» СЛД «Московка» было упрочнено 1777 колесных пар, против 593 за 2024 год. Фактический ресурс бандажей упрочненных колесных пар не определен в связи с тем, что работы по упрочнению системно проводились только в течение последнего года и пробеги первых упрочненных колесных пар достигли только 200 тыс.км.

В настоящее время основной эффект от упрочнения наблюдается в уменьшении интенсивности изнашивания гребней колесных пар на начальном этапе их эксплуатации, в дальнейшем проявляется результат с противоположной тенденцией.

Таблица 5

Интенсивность изнашивания гребней колесных пар электровоза серии 2ЭС6 № 406 после плазменного упрочнения

406	15.04.2025		20.05.2025		Износ, мм за 32,5 тыс км пробега		Средняя интенсивность износа мм / 10 тыс.км пробега
	Гребень, мм		Гребень, мм				
1	32,5	32,5	30,0	31,0	2,5	1,5	1,28
2	32,5	32,5	30,0	30,0	2,5	2,5	
3	32,5	32,5	27,0	27,0	5,5	5,5	
4	32,5	32,5	26,0	26,0	6,5	6,5	
5	32,5	32,5	27,0	28,0	5,5	4,5	
6	32,5	32,5	28,0	29,0	4,5	3,5	
7	32,5	32,5	27,0	27,0	5,5	5,5	
8	32,5	32,5	29,0	29,0	3,5	3,5	
Суммарный износ гребней, мм					36,0	34,0	70,0

Необходимо оценить влияние угла наклона наклонной тяги на боковое давление в кривых участках пути, поскольку при реализации силы тяги наклонная тяга передает продольное усилие от рамы тележки к кузову под определенным углом. В кривой тележка должна повернуться относительно кузова на угол α . Однако возникающее в тяге растягивающее (или сжимающее) усилие создает центрирующий момент, стремящийся вернуть тележку в соосное с кузовом положение.

Необходимо установить критические значения силы тяги для различных радиусов кривых, при которых кинематическое сопротивление наклонных тяг делает невозможной радиальную установку осей колесных пар.

Сформировать комплекс мер обеспечивающий минимизировать количество неплановых ремонтов, связанных с интенсивным износом гребней колесных пар, а также снизить удельное сопротивление движению в кривых.

Разработать алгоритм интеллектуального решения на основе активного управления распределением моментов сил тяговых электродвигателей в кривых участках пути. Переход от равномерного распределения тяги к дифференцированному (снижается угол набегания гребня колесной пары на рельс и работа сил трения).

Список литературы

1. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации. Часть 6. Механическая часть. – 2ЭС6.00.000.00 РЭ5 / ООО «Уральские локомотивы». – Екатеринбург, 2008. – 64-69 с.

2. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации. Часть 9. Техническое обслуживание. Текущий ремонт – 2ЭС6.00.000.00 РЭ8. Приложение Т. / ООО «Уральские локомотивы». – Екатеринбург, 2016. – 439 с.

3. Дрягилев, А. Е. Анализ неисправностей механической части электровозов 2ЭС6 / А.Е. Дрягилев // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т. путей сообщения. Омск, 2014. № 2(18). - 18 – 23 с.

4. Юрасов О.Д. Повышение работоспособности колесно-моторных блоков электровозов серии 2ЭС6: дис... канд. техн. наук: 05.22.07 / Юрасов Олег Дмитриевич. - Омск, 2016. 126 с.

5. И. И. Галиев, В. А. Нехаев, В. А. Николаев. Безопасность движения, проблемы тяги и динамики поезда и их исследования методом фракционного анализа / И. И. Галиев, В. А. Нехаев, В. А. Николаев // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т. путей сообщения. Омск, 2010. № 1(1). - 98 – 106 с.

Д. М. Никонов, Е. Д. Бычков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

В данной работе рассматривается применение квалиметрического подхода на основе когнитивных карт к анализу состояния сложной системы. Приводится когнитивная карта с причинно-следственными связями взаимовлияния концептов внутри сложной системы на ее качества в количественном представлении.

Ключевые слова: сложная система, квалиметрия, когнитивная карта, управление качеством.

В современной промышленности, особенно в сфере производства сложной электроники и высокотехнологичных устройств, воспринимаемое потребителями качество продукта формируется под влиянием множества взаимосвязанных факторов. Инженерные и проекторочные решения, принимаемые на этапе разработки, нуждаются в таком инструменте, который позволял бы прогнозировать не только непосредственный эффект от изменений, но и их косвенное влияние на смежные характеристики, а также учитывать динамику потребительских предпочтений. Когнитивные модели в этом смысле выглядят перспективным инструментом, поскольку дают возможность наглядно представить структуру влияний между различными свойствами продукта и уже на ранних стадиях проектирования оценивать, как те или иные решения скажутся на итоговом качестве.

В квалиметрии наряду с оценкой отдельных свойств объектов существуют методы получения интегральных показателей качества, однако формирование такого рода интегрального оценивания может представляться трудным, когда у объекта много свойств, причем они образуют сеть взаимных влияний, где изменение одной характеристики влечет за собой изменение других, к тому же не всегда самым очевидным способом. В таких случаях традиционные подходы

к свертыванию показателей могут не в полной мере учитывать системный характер этих связей.

Когнитивный подход, основанный на построении причинно-следственных моделей, позволяет представить качество объекта не как простую совокупность свойств, а как структуру взаимодействующих факторов. Когнитивные карты дают возможность формализовать отношения между концептами, отражая как положительные, так и отрицательные связи, что создает основу для более полного системного анализа при квалиметрической оценке сложных объектов.

Квалиметрия – это наука, изучающая способы количественной оценки качества различных объектов. К последним могут быть отнесены как материально существующие объекты вроде изделий и их деталей, так и процессы, протекающие во времени. Таким образом, объектом квалиметрии как науки может быть любой объект, наделенный качествами, а предметом – количественная оценка этих самых качеств.

Качество продукта представляет собой свойства продукта, характеризующие его способность удовлетворить потребности и ожидания конкретного потребителя в соответствии с его назначением. В условиях рыночной экономики качество продукта является конечной целью производителя и определяет его конкурентоспособность [1].

На предприятиях, производящих продукцию, будь то комплектующие вычислительных устройств, целые приборы или даже средства измерения, является необходимым осуществлять контроль качества этой продукции для того, чтобы обеспечить ее соответствие заявленным качествам и выдержать конкуренцию среди производителей похожей продукции.

К числу теорий квалиметрии относят общую, предметную и специальные квалиметрии. Специальные теории в свою очередь включают в себя следующие теории [2]:

- экспертная, где оценки даются экспертами или автоматизированными экспертными системами);
- вероятностно-статистическая, основанная на методах теории вероятностей и математической статистики;
- индексная, использующая меры качества, полученные при нормировке

на базе индексации (сравнения);

– таксономическая (также квалиметрическая таксономия), основывающаяся на классах качеств (квалитаксонах) объекта.

В частности, в экспертной квалиметрии, для количественной оценки отдельных качеств продукции может быть применена автоматизированная экспертная система, основанная на когнитивных картах, которая использует когнитивный подход.

Когнитивный подход в управлении – развивающееся научное направление в области решения задач анализа, моделирования, идентификации, оценки, прогнозирования развития, управления развитием слабоструктурированных объектов, систем, ситуаций [3, 4].

Когнитивные карты представляют собой орграфы (ориентированные графы) или, иными словами, причинно-следственные сети следующего вида:

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (1)$$

где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин (от англ. vertices – вершины) орграфа G , а E множество дуг или ребер (от англ. edges – ребра). Помимо этого, V представляет собой множество факторов, называемых концептами, а E – множество их бинарных отношений, которое задает набор связей между его элементами [3, 5].

Элементы v_i и v_j считаются связанными отношениями E , если изменение значения концепта v_i (причины) приводит к изменению значения концепта v_j (следствия). При этом говорят, что концепт v_i оказывает влияние на концепт v_j , т. е. $w(v_i, v_j)$ [3].

Концепты на когнитивной карте – элементы множества вершин, взаимно влияющих друг на друга через отношения между ними.

Если увеличение значения концепта-причины приводит к увеличению значения концепта-следствия, то влияние считается положительным («усиление»). Если же значение уменьшается, то влияние считается отрицательным («торможение»). Сами концепты могут задаваться как качественными показателями, так и количественными [3].

Когнитивные карты строятся экспертами предметных областей. По этой причине когнитивные карты в большей степени отражают субъективные взгляды

экспертов на ситуации, несмотря на то, что некоторые связи могут быть подтверждены статистическими данными. Однако сам процесс ее построения и последующий анализ помогают структурировать и наглядно представить накопленные экспертами знания [3].

Для оценки качества продукта нужно сначала определить, какие из характеристик продукта имеют высокое значение для потребителя и сказываются на его конкурентоспособности.

Продукт в сущности может являться каким-нибудь физическим, материально существующим объектом с простой конструкцией или иметь сложное исполнение и включать в себя множество не менее сложных взаимосвязанных компонентов с присущими им техническими характеристиками. Напротив, продукт также может быть цифровым и представлять собой какую-нибудь программу, медиа-продукт вроде фильма или аудиокниги. Помимо физических и технических, когда продукт выпускается производством и уже находится на этапе жизненного цикла, когда его продают, попутно анализируя рынок, также появляются экономические характеристики. Следовательно, все эти характеристики могут принципиально различаться в зависимости от природы самого оцениваемого объекта или системы (таблица 1).

Помимо вышеперечисленных групп показателей могут быть и другие вроде эргономических (удобства использования), показателей безопасности (наличие и содержание вредных веществ) и т. д.

Таблица 1

Пример разделения характеристик продуктов по их видам

Физические	Технические	Экономические
– масса	– безотказность	– цена
– габариты	– долговечность	– себестоимость
	– ремонтпригодность	– эксплуатационные расходы
	– наработка на отказ	– КПД

Сами показатели могут быть как единичными, т. е. характеризовать одно отдельное свойство объекта, так и комплексным, т. е. учитывать несколько свойств объекта в совокупности в виде единого концепта.

Для того, чтобы оценить качество объекта, опираясь на его свойства, нужно сопоставлять их со свойствами эталона – базового образца, качество которого соответствует заявленным. Таким образом, база данных экспертной системы должна содержать такие качества. Например, экспертная система, исполненная в виде нейронной сети, должна обучаться на данных эталонов оцениваемого объекта.

В качестве примера возьмем некую сложную систему и выделим внутри нее ряд свойств, которые будем рассматривать как ее качества в количественном представлении. Построим когнитивную карту (модель), включим в нее концепты, представляющие ее свойства, для экспертной оценки качества этой системы (рисунок 1). При этом рассмотрим обыкновенный «смартфон» как такую систему.

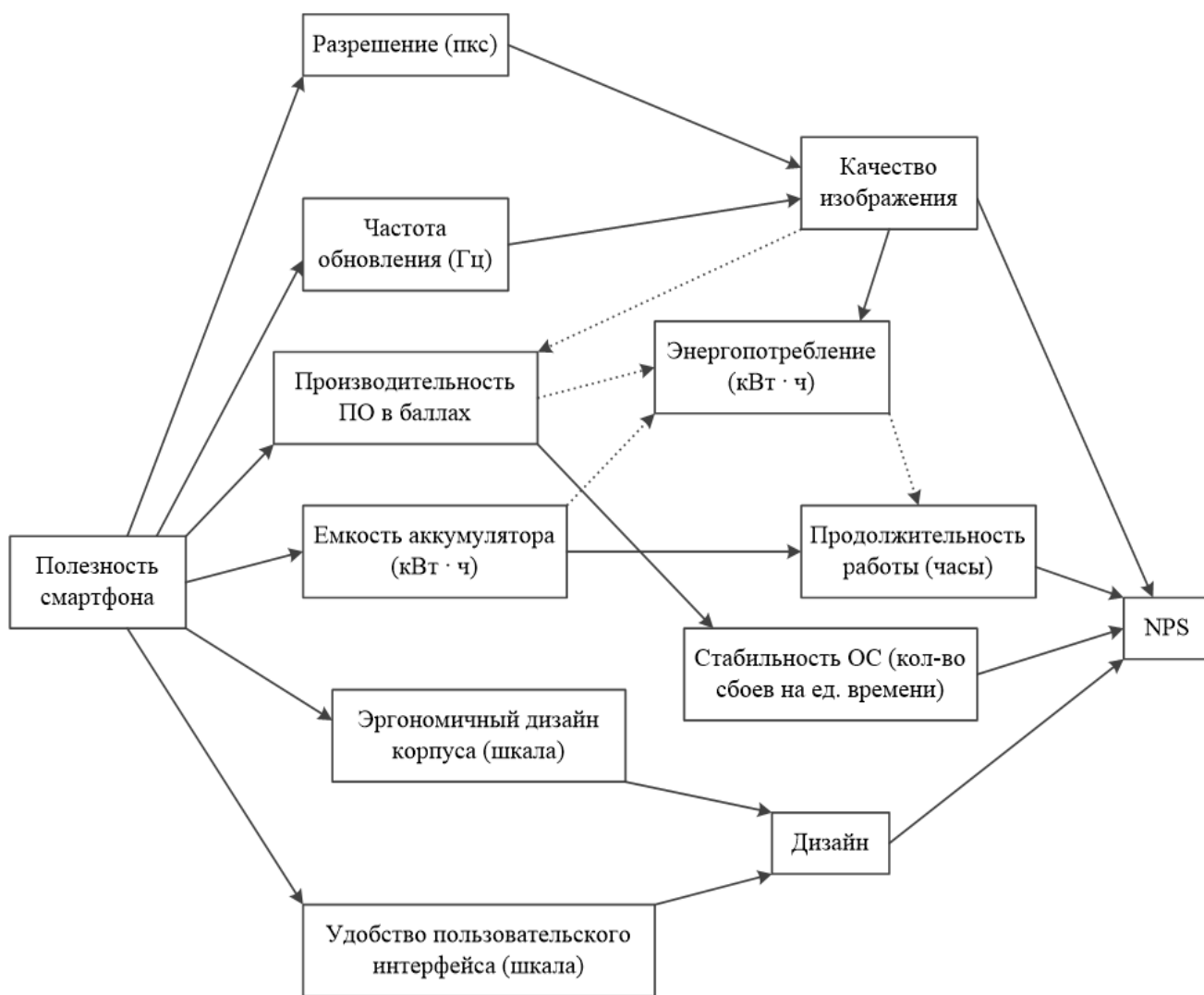


Рисунок 1 – Когнитивная карта оценки качества смартфона

Как можно заметить, на проиллюстрированной когнитивной карте присутствуют дуги с положительным влиянием, изображенные в виде стрелок со сплошными линиями, и дуги с отрицательным влиянием, изображенные похожими стрелками, но уже с пунктирными линиями.

Стоит обратить внимание на то, что при выборе смартфона люди склонны обращать внимание в первую очередь на качество изображения (дисплея и камер), общую производительность встроенного программного обеспечения (ПО), продолжительность его автономной работы (т. е. без зарядного устройства) и т. д. С каждым из вышеперечисленных свойств можно соотнести связанные с ними количественные показатели. Например, для качества изображения таковыми могут являться разрешение в пикселях и частота обновления в Гц. Для производительности ПО это могут быть баллы из ПО для ее тестирования (Hardware Benchmarking). Длительность автономной работы в первую очередь зависит от емкости встроенного в устройство аккумулятора, поэтому она может быть оценена величиной этой емкости.

Среди всего множества влияющих на качество концептов присутствуют и такие, которые не могут быть явно представлены количественными показателями. К таким концептам можно отнести, например, эргономичность дизайна корпуса или удобство пользовательского интерфейса установленной операционной системы (ОС). В подобного рода случаях мы можем определять шкалу, в которой размещены все возможные вариации или комбинации этих свойств и ранжировать их в соответствии с отзывами потребителей.

Концепты не изолированы между собой. Это означает, что количественные показатели некоторых из них могут сказываться положительно на одних концептах, в то время как также влиять отрицательно на другие. Так, например, если проектировщики какой-либо модели смартфона в основном ориентируются на производительность, то при ее высоком показателе может увеличиться энергопотребление, но уменьшиться длительность автономной работы, что в свою очередь скажется на качестве продукта.

Таким образом, в результате работы рассмотрено применение когнитивного подхода для квалиметрической оценки качества сложной системы,

в роли которой выступил смартфон.

В связи со сложностью ряда объектов, исследуемых методами квалиметрии, стоит рассматривать использование автоматизированных экспертных систем на основе когнитивных карт для возможности анализа взаимовлияния всех свойств объектов.

Более того, в отдельных случаях, когда речь идет об электронных устройствах вроде смартфонов или портативных персональных компьютеров, производители, опрашивая потребителей, могут собирать данные об их предпочтениях. В таком случае экспертные системы могут накапливать эти данные, чтобы, опираясь на них, формировать базы знаний о несуществующих экспериментальных макетах продукта для их последующего внедрения.

Список литературы

1. Чекмарев, А. Н. Квалиметрия и управление качеством. Ч.1. Квалиметрия / А.Н. Чекмарев. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. –172 с. – ISBN 978-5-7883-0801-2.
2. Варжапетян, А. Г. Квалиметрия / А. Г. Варжапетян – СПб: СПбГУАП, 2005. – 178 с.
3. Вокуева, Т. А. Вычисление матрицы взаимовлияния когнитивной карты / Т. А. Вокуева // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2012. – Вып. 3 (11). – Сыктывкар. – С. 124 – 132.
4. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2009) : [СбТр Международной научно-практической мультikonференции «Управление большими системами – 2009», М., 17–19 ноября 2009 г.] / Ин-т пробл. упр. им. В. А. Трапезникова РАН. – М. : ИПУ РАН, 2009. – 228 с. – ISBN 978-5-91450-045-7.
5. Вандышева, Т. М. Когнитивный подход в управлении рисками кредитных организаций / Т. М. Вандышева // Таганрогский технологический институт Южного федерального университета. – 10 с.

Р. А. Ерискин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТАТКОМ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В материалах статьи рассмотрены вопросы электромагнитной совместимости устройств связи и СЦБ с силовыми элементами системы тягового электроснабжения переменного тока при внедрении активных средств компенсации реактивной мощности, построена физическая модель влияющего устройства, произведена оценка адекватности модели посредством сравнения результатов экспериментального исследования с результатами теоретического расчета.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, СТАТКОМ, электромагнитные влияния, ШИМ.

Анализ методов регулирования переключений режимов статических генераторов реактивной мощности [1] показал, что устройство СТАТКОМ может быть источником высокочастотных помех. Для возможности проведения эмпирических исследований оценки влияний на устройства связи и СЦБ было необходимо разработать имитационную модель СТАТКОМ.

На первом этапе работы была построена упрощенная модель контактной сети переменного тока 25 кВ в программе SiminTech (рисунок 1) для сравнения выходных сигналов данной модели с сигналами модели контактной сети с интегрированным в нее устройством СТАТКОМ.

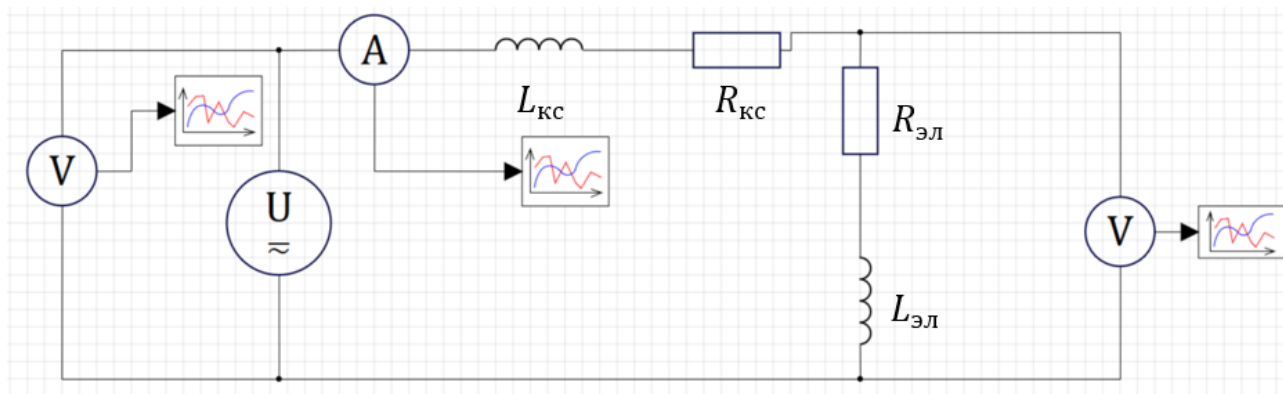


Рисунок 1 – Упрощенная модель контактной сети переменного тока 25 кВ

Значения параметров модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения параметров модели контактной сети переменного тока

Параметр	Значение параметра
ЭДС источника, кВ	25
Частота источника, Гц	50
Сопротивление проводов КС, Ом	5
Индуктивность проводов КС, мГн	3,75
Сопротивление электровозной нагрузки, Ом	106,3
Индуктивность электровозной нагрузки, мГн	158
Длина КС, км	25

Циклическая частота в сети находится по формуле

$$\omega_{\Gamma} = 2\pi f_{\Gamma}. \quad (1.1)$$

$$\omega_{\Gamma} = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ (рад/с)}.$$

Входное сопротивление определяется следующим выражением

$$Z_{\text{вх}} = R_{\text{эл}} + R_{\text{КС}} + j\omega_{\Gamma}(L_{\text{эл}} + L_{\text{КС}}). \quad (1.2)$$

$$Z_{\text{вх}} = 106,3 + 5 + j314 \cdot (158 + 3,75) \cdot 10^{-3} = 106,3 + j49,87 \text{ (Ом)}.$$

Входной ток найдем в соответствии с законом Ома.

$$I_{\text{вх}} = \frac{E_{\Gamma}}{Z_{\text{вх}}}. \quad (1.3)$$

$$I_{\text{вх}} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j0}}{106,3 + j49,87} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot e^{j0}}{117,42 \cdot e^{j25,1^{\circ}}} = 212,92 e^{j25,1^{\circ}} = \\ = 195,75 - j90,44 \text{ (А)}.$$

Синусоидальный вид входного тока:

$$i_{\text{вх}} = 212,92 \cdot \sin(314t - 25,13^{\circ}).$$

Таким, образом, расчет показал отставание тока на 25 градусов от напряжения в результате появления реактивной составляющей, которая ярко выражена в алгебраической форме записи. Задача устройства СТАТКОМ заключается в компенсации данной реактивной составляющей.

Временные зависимости входных напряжения и тока в контактной сети, полученные в результате измерения в программе SimIntech, приведены на рисунках 2 и 3.

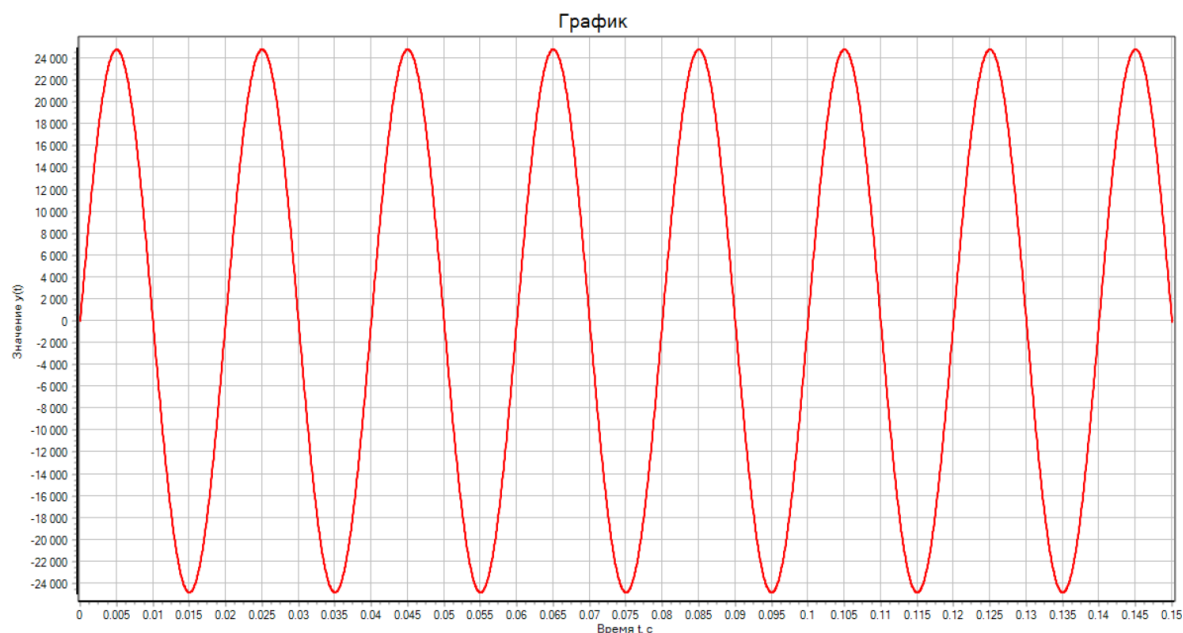


Рисунок 2 – Временная зависимость входного напряжения в контактной сети

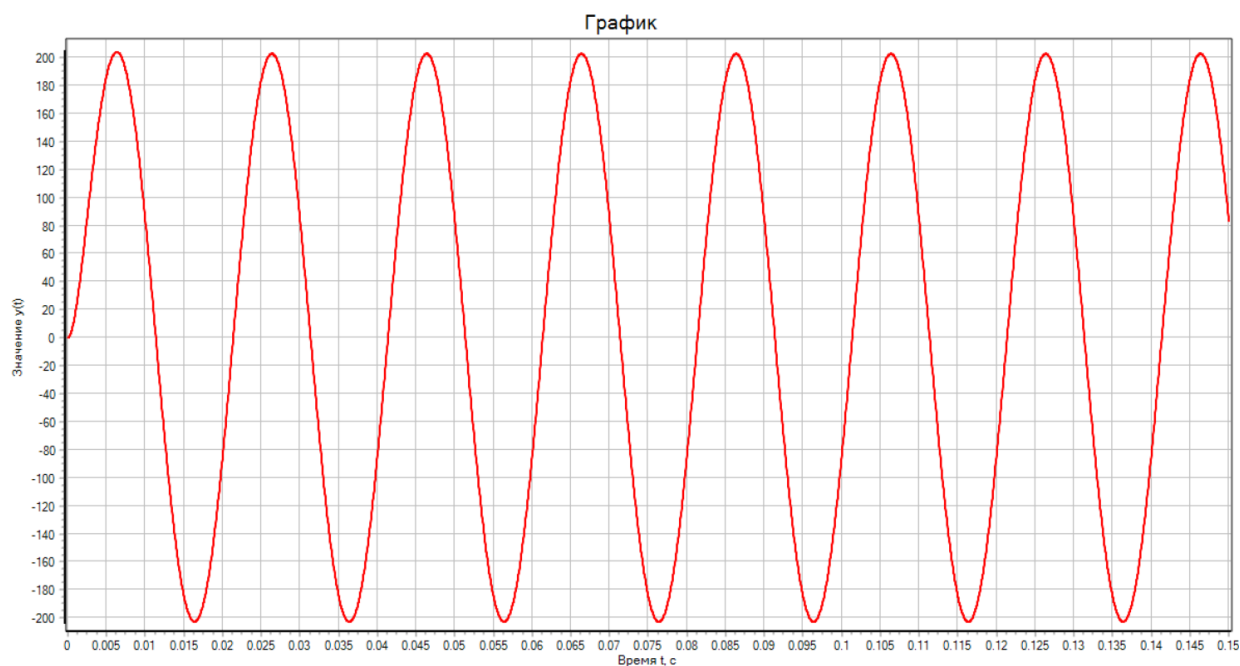


Рисунок 3 – Временная зависимость входного тока в контактной сети

На втором этапе работы в программе SimInTech была построена модель однофазного СТАТКОМ, интегрированная в модель контактной сети переменного тока 25 кВ (рисунок 4).

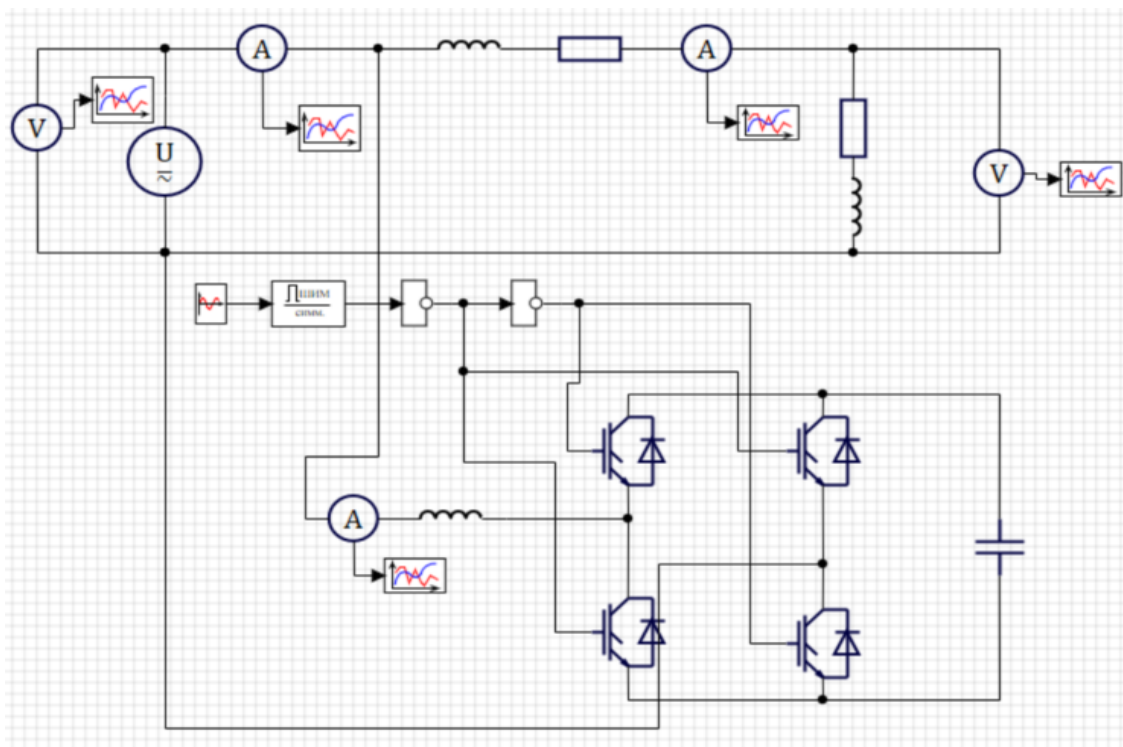


Рисунок 4 – Модель однофазного СТАТКОМ

Значения параметров модели приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения параметров модели контактной сети переменного тока

Параметр	Значение параметра
Емкость СТАТКОМ, мкФ	5
Индуктивность реактора СТАТКОМ, мГн	5
Открывающее напряжение на затворе транзистора, В	0,7
Емкость СТАТКОМ, мкФ	5
Период дискретности ШИМ, с	0,0002
Амплитуда задающей синусоиды, В	0,8
Частота задающей синусоиды, Гц	50

Выбор значений параметров задающей синусоиды и ШИМ-сигнала позволяет подобрать амплитуду компенсационного тока. Емкость конденсатора выбиралась исходя из условий его заряда – в соответствии с математической моделью напряжение на емкости должно превышать напряжение питания.

Временные зависимости входных напряжения и тока в контактной сети, при подключении к ней устройства СТАТКОМ, полученные в результате измерения в программе SimInTech, приведены на рисунках 5 и 6.

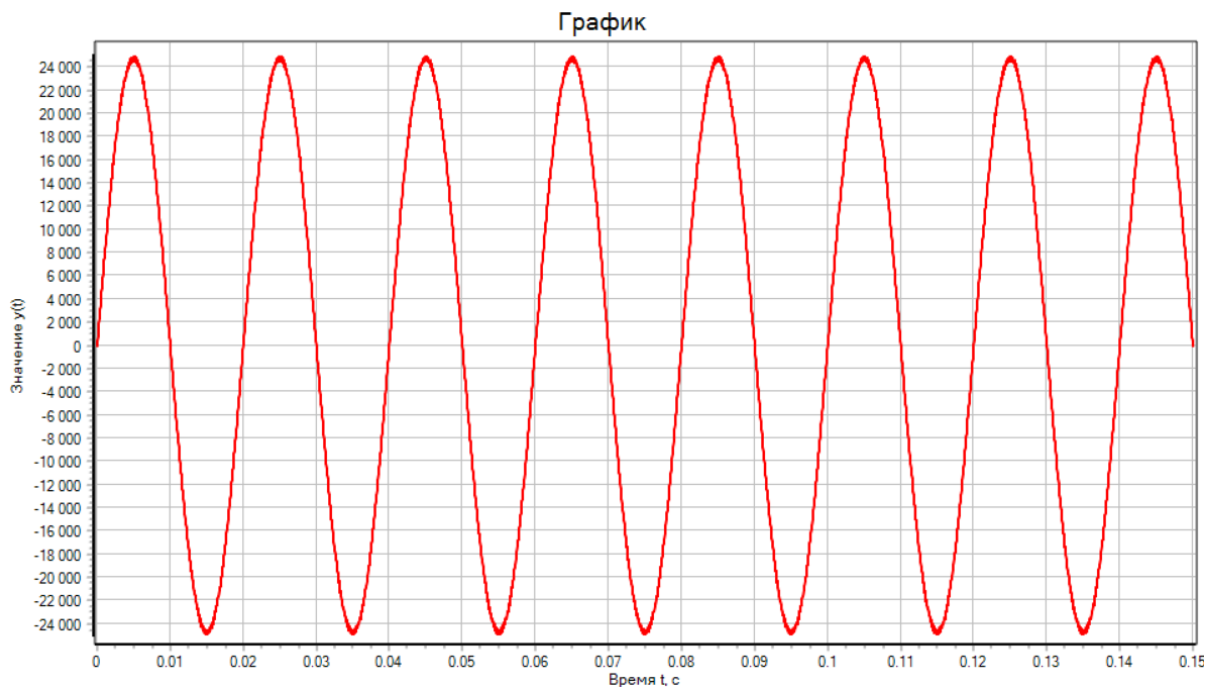


Рисунок 5 – Временная зависимость входного напряжения в контактной сети, при подключении к ней устройства СТАТКОМ

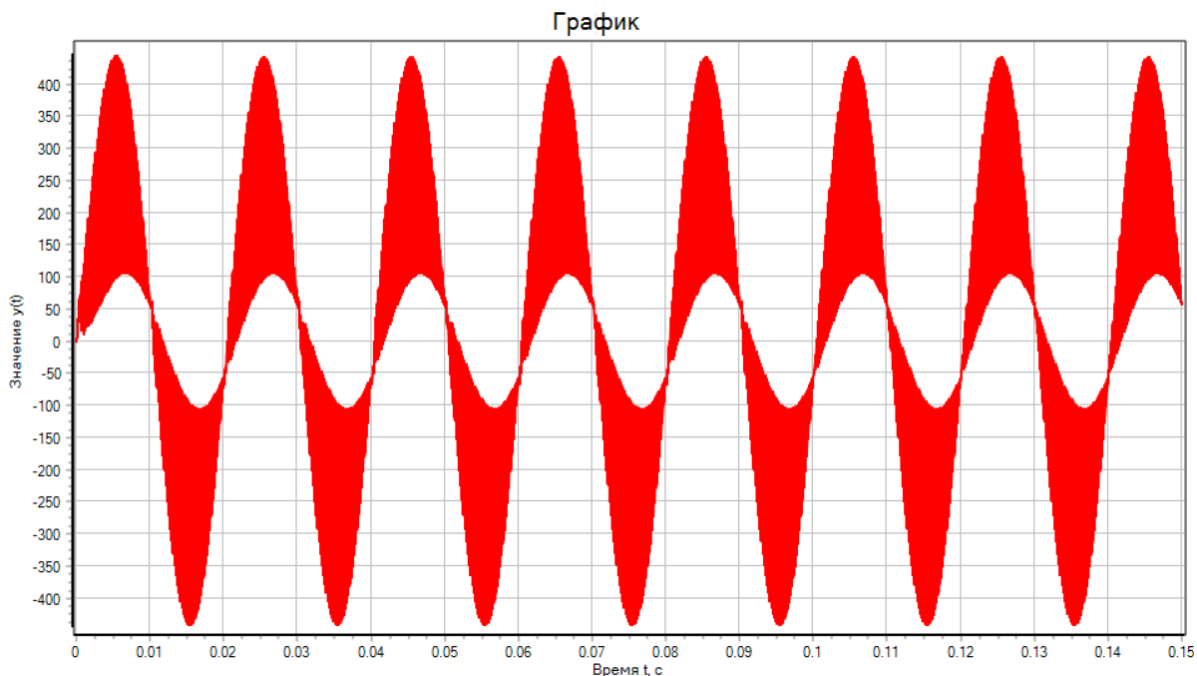


Рисунок 6 – Временная зависимость входного тока в контактной сети, при подключении к ней устройства СТАТКОМ

Данные графики демонстрируют компенсацию реактивной составляющей тока в контактной сети около 100 А, что на 10 % выше рассчитанных 90 А реактивной составляющей входного тока. Данная погрешность объясняется высокой частотой переключений ключей, в следствии чего возникают дополнительная амплитуда. В результате мы видим, что форма тока полностью повторяет форму напряжения, что свидетельствует о компенсации реактивной мощности, следовательно данную модель можно признать адекватной и использовать ее в рамках диссертационной работы.

Научный руководитель – А. А. Комяков, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая электротехника» ОмГУПС.

Список литературы

1. Mohammed Barghi Latran, Ahmet Teke, Yeliz Yoldas Mitigation of power quality problems using distribution static synchronous compensator: a comprehensive review // The Institution of Engineering and Technology. – 2015.

2. Васильев, А. С. Управляемые передаче на базе силовой электронике : учебное пособие для вузов / А. С. Васильев, Р. А. Уфа; Томский политехнический университет. Томск – Издательство Томского политехнического университета, 2021. – 142 с.

3. Muhammad Rashid Power Electronics Handbook. - 4th Edition изд. - 2018: Florida Polytechnic University, 1510 с.

4. Малинин Г.В., Пряников В.С. Исследование гармонического состава напряжения однофазного мостового инвертора с синусоидальной ШИМ // Вестник Чувашского университета. - 2017. - №1. - С. 120-124.

5. Полуянович Н.К. Математическое описание процессов преобразователя // Известия ЮФУ.

**Н. С. Афанасьева¹, К. О. Гнидко², Д. А. Елизаров¹,
Е. П. Орловский¹, И. А. Разумов¹**

¹Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация,

²Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Научно-технологический университет «Сириус»

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПОДМЕНЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

В материалах статьи рассмотрены вопросы распознавания автоматизированных средств подмены пользователя в информационной среде с учетом поведенческого анализа и определения параметров браузерного окружения.

Ключевые слова: обеспечение информационной безопасности, веб-боты, кибербезопасность, движение курсора компьютерной мыши.

Эволюция систем защиты от автоматизированных средств подмены пользователя в информационной среде идёт в тесной взаимосвязи с развитием технологий их создания, формируя динамичную экосистему цифровой конфронтации. Ключевым элементом современных механизмов распознавания выступает многофакторный анализ поведенческих паттернов, при котором особое внимание уделяется мельчайшим нюансам взаимодействия пользователя с интерфейсом.

В рамках поведенческого анализа системы мониторинга детально исследуют траекторию перемещения курсора, динамику ускорения, плавность переходов между интерфейсными элементами и временные задержки перед выполнением действий. Естественная человеческая моторика характеризуется присущей ей вариативностью и незначительными неточностями, которые крайне затруднительно имитировать. Технические методы распознавания непрерывно совершенствуются, охватывая сотни параметров браузерного окружения.

Автоматизированные средства подмены пользователя (веб-боты) играют двойственную роль в работе цифровых платформ. С одной стороны, они оптимизируют работу сервисов, снижают операционные затраты, улучшают

взаимодействие с пользователями. С другой стороны, аналогичные технологии могут использоваться злоумышленниками для проведения DDoS-атак, скрапинга данных, накрутки метрик и распространения спама и вирусов. Критически важно не блокировать легитимных веб-ботов – это может нарушить сбор аналитики, работу поисковых роботов, интеграцию с внешними сервисами и функционирование вспомогательных автоматизированных систем.

Сигнатурный метод является базовым способом обнаружения автоматизированных средств. Он основан на сопоставлении текущей активности с заранее известными шаблонами (сигнатурами) веб-ботов. Анализируются необычные или поддельные строки идентификации клиента *User-Agent*, частота запросов (аномально высокая скорость обращений к серверу), протоколы и заголовки (использование устаревших или нестандартных настроек), *IP*-адреса (обращения с известных вредоносных или подозрительных адресов). К преимуществам метода можно отнести высокую скорость обработки запросов, простоту внедрения и настройки, низкие требования к вычислительным ресурсам, эффективность против известных типов угроз. Однако сигнатурный метод не справляется с новыми видами веб-ботов, которые маскируются под обычные браузеры, требует постоянного обновления базы сигнатур и даёт ложные срабатывания при блокировке легитимных автоматизированных сервисов. Сейчас этот подход считается скорее дополнительным, чем основным.

Анализ сетевого трафика позволяет выявлять аномалии в потоках данных, которые характерны для автоматизированных средств подмены пользователя в информационной среде. Анализируются такие параметры, как частота запросов, объём данных, время между запросами, география *IP*-адресов и использование прокси. Этот способ сложен, потому что необходимо обрабатывать большой объём информации, а также зашифрованный трафик.

Поведенческие методы анализируют действия пользователя во времени и логику его работы с информационным ресурсом. Здесь важно не только то, что пользователь зашёл на сайт, но и как он с ним работает. Исследуется последовательность действий, скорость навигации, длительность сессий, паузы между запросами, повторяемость действий и особенности ввода данных. Метод может распознать автоматизированные средства подмены пользователя, которые хорошо имитируют обычные сетевые параметры, но ведут себя нетипично для

человека, помогает находить повторяющиеся автоматические запросы, даже если меняются *IP*-адреса.

Для идентификации источников сетевого трафика широко применяются методы машинного обучения. Обученные на репрезентативных наборах данных модели позволяют эффективно выявлять аномальные поведенческие паттерны, свидетельствующие об автоматизированном сборе информации. Несмотря на способность таких методов адаптироваться к новым тактикам злоумышленников, они требуют регулярного обновления и систематического контроля качества моделей. Реализация указанных мер существенно затрудняет автоматический доступ к данным и снижает эффективность средств подмены пользователей в информационных системах.

Выявление автоматизированных средств подмены пользователя представляет собой одну из наиболее сложных и приоритетных задач в сфере информационной безопасности. Достижение высокой точности распознавания возможно исключительно посредством комплексного анализа поведенческих паттернов и контекста взаимодействия. Применяемые методы противодействия, хотя и позволяют адаптироваться к новым тактикам злоумышленников, требуют регулярного обновления и постоянного контроля качества моделей. Это в свою очередь свидетельствует о необходимости разработки усовершенствованных методов и моделей детектирования.

Совершенствование методов обнаружения нелегитимного трафика неразрывно связана с усложнением алгоритмов, лежащих в основе функционирования веб-ботов. Если на ранних этапах развития интернета для защиты было достаточно применения сигнатурного анализа и статических правил фильтрации, то в современных условиях данные подходы демонстрируют критическую уязвимость. Сигнатурные методы, ориентированные на поиск известных шаблонов кода или фиксированных атрибутов заголовков пакетов, оказываются бессильны против полиморфных угроз и веб-ботов, использующих технологии ротации *IP*-адресов и подмены цифровых отпечатков устройств. Более того, простейшие поведенческие эвристики, основанные на пороговых значениях частоты запросов, легко обходятся злоумышленниками посредством внесения случайных задержек и имитации человеческих пауз, что делает автоматизированные действия

статистически трудноотличимыми от активности легитимного пользователя.

Критическим недостатком многих современных методов является изолированный анализ отдельных сессий без учета глобального контекста взаимодействий, что снижает эффективность выявления скоординированных сетей веб-ботов. Для решения обозначенных проблем наиболее перспективным представляется переход к гибридным архитектурам, объединяющим анализ временных рядов, графовые вычисления и адаптивные стратегии принятия решений.

В основе предлагаемого подхода лежит гипотеза о том, что действия автоматизированных средств подмены пользователя, даже при качественной имитации человека, сохраняют скрытые алгоритмические зависимости во временной структуре событий и топологии социальных связей. Для выявления таких зависимостей целесообразно использование архитектуры Трансформер, которая, благодаря механизму самовнимания, способна обрабатывать длинные последовательности действий пользователя, выявляя неочевидные контекстуальные связи между событиями. В отличие от рекуррентных нейронных сетей, архитектура трансформеров позволяют эффективно распараллеливать вычисления и удерживать фокус на критически важных паттернах поведения, таких как неестественная ритмичность или строгая последовательность выполнения игровых сценариев, характерная для скриптов автоматизации.

Однако анализа индивидуального поведения недостаточно для борьбы с масштабными фермами веб-ботов. Для детектирования групповых аномалий необходим анализ структуры связей между аккаунтами, что реализуется посредством применения графовых нейронных сетей (*GNN*). Представляя пользователей как узлы графа, а их взаимодействия как ребра, система получает возможность анализировать топологию сообщества. *GNN* агрегирует информацию от соседних узлов, позволяя выявлять кластеры аккаунтов с подозрительно высокой плотностью связей или синхронностью действий, даже если индивидуальные характеристики каждого отдельного узла не вызывают подозрений у традиционных фильтров.

Завершающим элементом предлагаемой архитектуры является механизм адаптивного реагирования, построенный на базе обучения с подкреплением.

Статические правила блокировки быстро теряют актуальность, так как разработчики веб-ботов оперативно модифицируют алгоритмы обхода защиты. Внедрение агента, обучаемого с подкреплением, позволяет системе безопасности динамически выбирать оптимальную стратегию противодействия – от скрытого мониторинга и показа капчи до полной блокировки – в зависимости от текущего состояния среды и уверенности в вердикте. Функция вознаграждения в такой модели настраивается на минимизацию ошибок первого и второго рода, обеспечивая баланс между надежностью защиты и комфортом легитимных пользователей.

В работе предложена концепция усовершенствованного метода детектирования автоматизированных средств подмены пользователя в информационной среде. Доказано, что использование гибридной архитектуры, включающей трансформеры, графовые нейросети и обучение с подкреплением, является наиболее перспективным вектором развития систем информационной безопасности. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию производительности моделей для работы в высоконагруженных системах и создание открытых датасетов для обучения.

Список литературы

1. Imperva Bad Bot Report : сайт – URL: <https://www.imperva.com/resources/resource-library/reports/2025-bad-bot-report/> (дата обращения: 17.01.2026). – Текст : электронный.
2. Bad bots: regulating the scraping of public personal information : сайт – URL: <https://jolt.law.harvard.edu/assets/articlePDFs/v34/6.-Xiao-Bad-Bots-Regulating-the-Scraping-of-Public-Personal-Information-edit.pdf> (дата обращения: 17.01.2026). – Текст : электронный.
3. Identifying legitimate Web users and bots with different traffic profiles — an Information Bottleneck approach : сайт – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705120302318> (дата обращения: 17.01.2026). – Текст : электронный.

Д. К. Берестов, Д. В. Жуков

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),

г. Омск, Российская Федерация

ЦИФРОВОЕ ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

В статье рассмотрены возможности применения BIM-технологий на основе программных комплексов Autodesk Revit и Navisworks при проектировании трубопроводных систем объектов энергетики с учётом теплоизоляционных конструкций. Проанализированы функциональные возможности программных средств для создания информационных моделей трубопроводов, задания параметров теплоизоляционных материалов. Показаны преимущества интеграции Autodesk Revit и Navisworks при выявлении коллизий и оптимизации проектных решений. Отмечена роль BIM-моделирования в повышении энергоэффективности и качества проектирования объектов энергетики.

Ключевые слова: BIM-технологии, трубопроводы, теплоизоляция, Autodesk Revit, Navisworks, объекты энергетики, информационное моделирование.

Современное проектирование объектов энергетики отличается высокой сложностью инженерных систем и повышенными требованиями к энергоэффективности и энергосбережению. Важную роль в снижении тепловых потерь и повышении надёжности эксплуатации играют трубопроводные системы и тепловая изоляция. Ошибки на стадии проектирования приводят к росту эксплуатационных затрат и снижению эффективности объектов.

Необходимость применения тепловой изоляции трубопроводов обоснована несколькими факторами:

во-первых, изоляция снижает потери тепла от трубопроводов к окружающей среде, что позволяет транспортировать теплоноситель с минимальным снижением температуры, и уменьшать затраты на тепло;

во-вторых, высокая температура теплоносителя представляет опасность получения ожогов для эксплуатационного персонала, изоляция обеспечивает

безопасную температуру поверхности, к которой может прикоснуться человек;
в-третьих, воздействие внешней среды способствует развитию коррозии металла трубопровода, изоляция выступает защитным слоем, значительно продлевающим срок службы трубопроводов.

В настоящее время имеется значительное разнообразие теплоизоляционных материалов, обладающие различными характеристиками [2], а изолируемое оборудование имеет сложную конфигурацию.

Требования к материалам и конструкциям тепловой изоляции регламентированы сводом правил [1]. В частности, в конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурами содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м·К) при средней температуре 25 °С. Под эти требования попадает достаточно большое количество теплоизоляционных материалов. Применительно к тепловым сетям материалы должны обладать низким коэффициентом теплопроводности, долговечностью, устойчивостью к влаге, а также экологичностью, безопасностью при монтаже и эксплуатации, в том числе пожаробезопасностью.

В условиях цифровой трансформации отрасли широкое применение получают BIM-технологии (*Building Information Model*), позволяющие создавать цифровые модели объектов с учётом всех инженерных элементов [3]. Ключевыми программными комплексами в этой области являются *Autodesk Revit* и *Autodesk Navisworks*, обеспечивающие комплексный подход к проектированию, координации и анализу инженерных систем.

Целью работы является анализ возможностей применения *Autodesk Revit* и *Navisworks* при проектировании трубопроводов энергетических объектов с учётом теплоизоляции. BIM-моделирование позволяет повысить точность проектных решений, сократить количество ошибок и обеспечить эффективное взаимодействие участников проекта на всех этапах жизненного цикла объекта.

Autodesk Revit позволяет создавать детализированные трёхмерные модели трубопроводных систем с заданием параметров теплоизоляции, автоматически

обновлять модель при изменениях, формировать спецификации и выпускать рабочую документацию.

Autodesk Navisworks используется для интеграции *BIM*-моделей, координации инженерных систем и выявления коллизий, включая учёт теплоизоляционных конструкций. Программа позволяет анализировать доступность трубопроводов для монтажа и обслуживания, а также визуализировать этапы строительства.

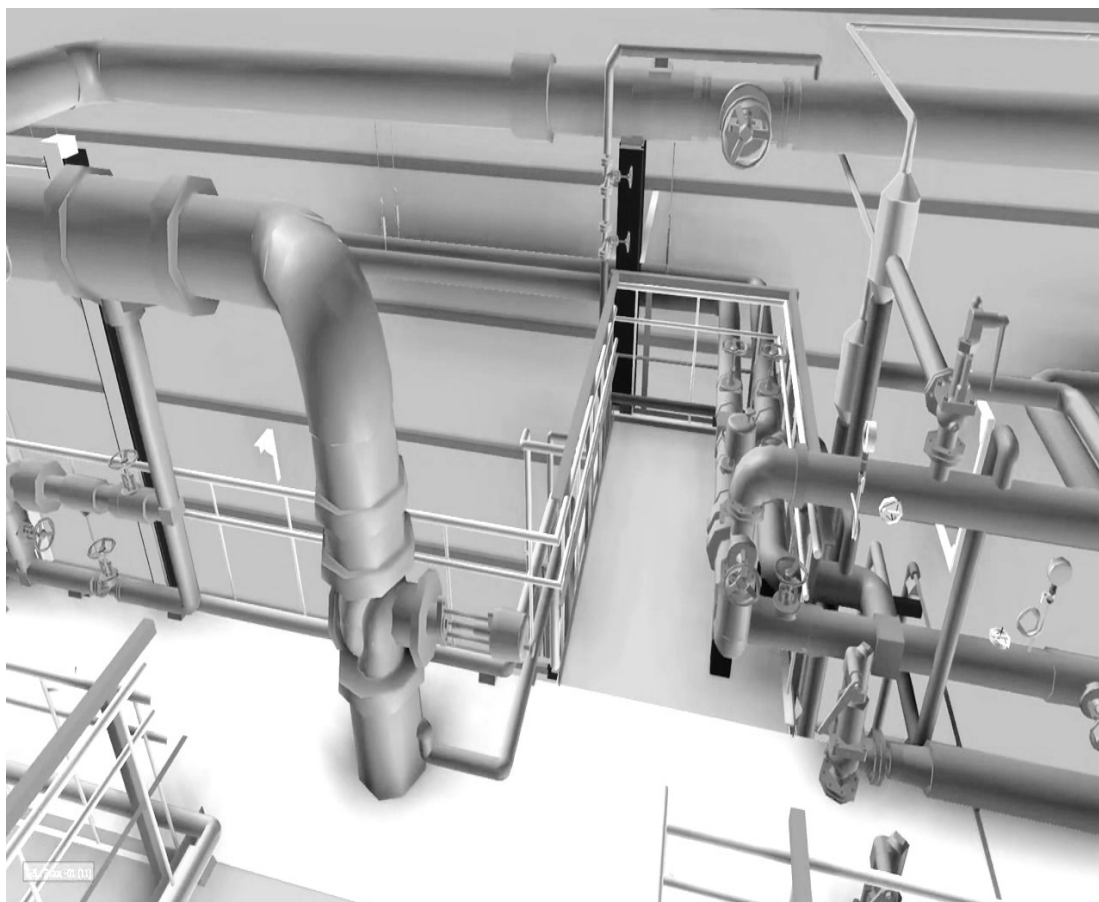


Рисунок 1 – 3D-модель обвязки трубопроводов на ТЭЦ, созданная в программе *NavisWorks*

Таким образом, тепловая изоляция трубопроводов является важным элементом обеспечения энергоэффективности, безопасности и надёжности объектов энергетики, а применение *BIM*-технологий на стадии проектирования позволяет учитывать параметры теплоизоляции в составе информационной модели, повышать точность проектных решений и снижать количество ошибок. Использование программных комплексов *Autodesk Revit* и *Autodesk Navisworks*

обеспечивает детализированное моделирование трубопроводных систем, автоматизацию формирования спецификаций, выявление коллизий и анализ условий монтажа и эксплуатации трубопроводов с учётом теплоизоляции. Совместное применение данных программных средств способствует оптимизации проектных решений и повышению эксплуатационной надёжности трубопроводных систем энергетических объектов.

Список литературы

1. СП 61.13330.2012. Свод правил «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»: утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2011 г. № 608: дата введения 01.01.2013 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения 23.01.2025). – Текст: электронный.

2. Шойхет, Б. М. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Современное состояние и перспективы развития / Б. М. Шойхет. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3050 (дата обращения 23.01.2025). – Текст: электронный.

3. Козлов, А. В., Ларионов, И. В. Применение BIM-технологий в энергетике: проектирование инженерных систем / А. В. Козлов, И. В. Ларионов. – Томск : Энергетика и промышленность России №8, 2022. – 45-52 с. – Текст : непосредственный.

4. Ляшенко, В. А., Иванов, П. П. Теплоизоляционные материалы для трубопроводов: свойства и применение / В. А. Ляшенко, П. П. Иванов. – Москва : Энергоатомиздат, 2019. – 224 с. – Текст : непосредственный.

5. Плотников, В. А, Сидоров, С. П. Информационное моделирование зданий и сооружений / В. А. Плотников, С. П. Сидоров. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 356 с. – Текст : непосредственный.

И. С. Лексутов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ

В материалах статьи рассмотрены вопросы технологии создания и поддержания цифрового двойника на этапе эксплуатации железнодорожного подвижного состава на примере одного из основных элементов вагона – колеса. Обозначены проблемы, которые требуют решения для успешного внедрения новой для железнодорожной отрасли цифровой технологии.

Ключевые слова: вагон, цифровой двойник, эксплуатация, колесо.

В последнее время особенную важность приобретают автоматизированные технологии измерений в условиях внедрения современного подхода к управлению состоянием производственных объектов – методологии «цифрового двойника». Для формирования и обновления в ходе жизненного цикла данных о состоянии объекта малоэффективно использовать обычные методики с применением ручного контрольного и измерительного инструмента, так как время получения, обработки и ввода информации будут, очевидно, очень большими. Эффективность применения методологии «цифрового двойника» (ЦД) базируется на применении автоматизированных технологий измерения, считывания и передачи информации. Понятие ЦД опирается на такие продвинутое технологии автоматизации как «большие данные» – «Big data» [1], так как объем собираемой, анализируемой и хранимой о каждом изделии информации превышает эффективные возможности «ручной» обработки. В случае эксплуатации вагонов, коих насчитывается в эксплуатации порядка одного миллиона, задача внедрения методологии ЦД является непростой. Особенной проблемой также является то, что предшествующая цифровым двойникам технология PLM (технология автоматизации поддержки жизненного цикла промышленных изделий) еще не полностью внедрена по отношению к вагонам.

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 в последнее в время исходя из развития

техники, появилась возможность создавать с приемлемыми затратами достаточно адекватные модели, способные описывать поведение промышленного изделия на всех этапах его жизненного цикла. Особенно актуально применять цифровые двойники в контексте эксплуатации изделий, так как основная часть информации, которая используется для модифицирования цифрового двойника образуется именно на этом этапе. Такая информация позволяет постоянно улучшать производимое изделие с учетом его поведения в реальной эксплуатации.

Обычно цифровые двойники создаются на стадии проектирования, но их можно создавать и на стадии эксплуатации, опираясь на реальный опыт и потребность в том или ином функционале. Внедрение технологии цифровых двойников на стадии эксплуатации позволит: при использовании изделия выполнять обоснованное планирование применения изделия в зависимости от его функциональных свойств и технического состояния, а также принимать обоснованные решения по техническому обслуживанию и способу ремонта изделия.

Одной из основных проблем создания цифрового двойника в эксплуатации является факт отсутствия практической реализуемости получения полной информации об объекте. В контексте рассмотрения железнодорожного колеса, приведем некоторые факты, усложняющие создание актуальной цифровой модели. Колесо вагона находится в эксплуатации в составе условно неразъемной сборки – колесной пары. Нахождение в сборке делает многие характеристики отдельного колеса неопределенными из-за сокрытия некоторых ключевых поверхностей от прямого измерения и записи информации в структуру цифрового двойника.

Следующий аспект проблемы получения полной и достоверной информации в процессе эксплуатации – это особенности конструкции колеса и узла колесной пары (КП) вагона. По своей идее в узле КП соединяются три осесимметричных тела вращения при помощи способа прессовой посадки с натягом. При этом взаимное базирование [2] трех объектов в сборке остается неопределенным еще и в части углового их расположения. Полную информацию о фактической форме изделия возможно получить на этапе изготовления новых колес, но не имея возможности привязать информацию к конкретной точке поверхности реального объекта, который уже находится в эксплуатации, такая

информация теряет свою актуальность.

Третий аспект – существующие в эксплуатации средства измерений, которые догматизированы и, теоретически, могут использоваться для сбора актуальной информации для ЦД, также не позволяют точно привязать получаемую информацию к реальному объекту. По той же причине, что рассмотрена ранее. Многие стенды для диагностирования позволяют задать, назовем так, «временную базу» или точку отсчета при сканировании колеса. Например, в ходе использования стендов «Прогноз» (или аналогичных стендов, основанных на вращении КП и сканировании сигналов акустических, ультразвуковых, вихретоковых либо дальномерных датчиков [3, 4]) на объект временно устанавливается магнитная либо оптическая метка, основная цель которой – участвовать в процессе диагностирования как элемент тахогенератора, для точного определения скорости вращения объекта, которая используется в алгоритмах технического диагностирования при обработке сигналов с датчиков. Сама же временная метка или база не привязывается к форме объекта, хотя информация о точном расположении особенностей формы и размеров КП очень полезна для анализируемого в рамках рассматриваемой методологии «цифрового двойника», так как позволяет выявить первопричины развития дефектов и проследить историю выявленных и устраненных неисправностей.

Одним из вариантов привязки получаемой в эксплуатации информации к объекту можно предложить использование клеймений, которые обязательно наносятся на оси и колеса. Для этого необходимо в структуре данных цифрового двойника указать точку, привязанную к какой-либо части надписи клеймений либо же других заметных особенностей объекта. Другой вариант задания базы для привязки – это нанесение контрастной оптической метки при помощи краски. Недостаток такой методики будет заключаться в необходимости обновления метки в случае ее загрязнения или затирания. Однако полезность такой метки будет возрастать с дальнейшим распространением автоматизированных диагностических систем на основе технического зрения и распознавания образов. Также возникает проблема сохранения таких меток в ходе ремонта и эксплуатации колесных пар. Метка может быть утеряна, например при окраске колеса, при сухой очистке, взаимодействии колес с вагонными замедлителями и других технологических операциях в ходе жизненного цикла вагона.

Таким образом по теме исследования можно сделать следующий вывод. Конструкция и требования к состоянию и нанесению знаков на колесные пары вагонов в текущем состоянии не позволяет развивать наиболее современное развития информатизации жизненного цикла изделий – концепцию «цифровой двойник» по нескольким причинам. Во-первых, конструкция и связанная с ней технология изготовления рассматриваемого объекта устарела в части обеспечения контролепригодности при помощи автоматизированных диагностических комплексов. Во-вторых, технология и алгоритмы контроля технического состояния объекта следуют неприспособленным к автоматизации контроля руководящим документам и исторически сложившейся планово-предупредительной стратегии ремонта и технического обслуживания колесных пар и подвижного состава.

Список литературы

1. Потапов В.П., Попов С.Е., Счастливец Е.Л. Цифровые двойники: стратегии и подходы к созданию систем экологического мониторинга // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28. № 3. С. 167-181.
2. Антоненкова Т. Технологические базы: понятие и проблемы формирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. №. 2. С. 21-32.
3. Звягин А. Д., Ваганов А. О., Григорьев А. Н. Вибродиагностика колесных пар вагонов с кассетными подшипниками // Научные проблемы водного транспорта. 2008. №25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vibrodiagnostika-kolesnyh-par-vagonov-s-kassetnymi-podshipnikami> (дата обращения: 23.02.2026).
4. Плотников С. В., Байбаков А. Н., Гуренко В. М., Патерикин В. И., Юношев С. П., Сотников В. В., Чугуй Ю. В. Лазерный диагностический комплекс для контроля колесных пар вагонов на ходу поезда // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2005. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lazernyy-diagnosticheskiy-kompleks-dlya-kontrolya-kolesnyh-par-vagonov-na-hodu-poezda> (дата обращения: 23.02.2026).

Д. В. Муравьев, М. Мухаметрахимов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ОТКРЫВАНИЯ И ЗАКРЫВАНИЯ КРЫШЕК РАЗГРУЗОЧНЫХ ЛЮКОВ ПОЛУВАГОНА

В статье рассмотрены конструкции устройств для открывания и закрывания люков, проанализированы их недостатки и предложены концептуальные разработки для их устранения.

Ключевые слова: выгрузка, механизация, вагон, устройство, безопасность, производительность.

Кузова полувагонов используются в основном для перевозки насыпных грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков. Конструкция кузова представляет стальной каркас, образованный из вертикальных стоек, соединенных гофрированными листами, и установленный на раму кузова.

Крышки разгрузочных люков полувагона образуют пол кузова, изготавливаются из гофрированных листов и фиксируются балками. Одной стороной люки шарнирно крепятся к хребтовой балке рамы кузова, а с другой стороны удерживаются запорным устройством, состоящим из закидки, заводимой при закрывании люка под угольники кронштейна, и сектора, который предотвращает произвольное вращение закидки во время движения вагона [1].

В настоящее время при открывании люков вручную секторы поднимают при помощи лома в крайнее верхнее положение, а далее выводят закидки из-под угольников, в результате чего крышка опускается под действием силы тяжести. Подобная технология предполагает широкое использование ручного труда, обеспечивает низкую производительность, повреждение деталей запорного механизма (рис. 1) и, в особенности, низкой уровень безопасности рабочих.

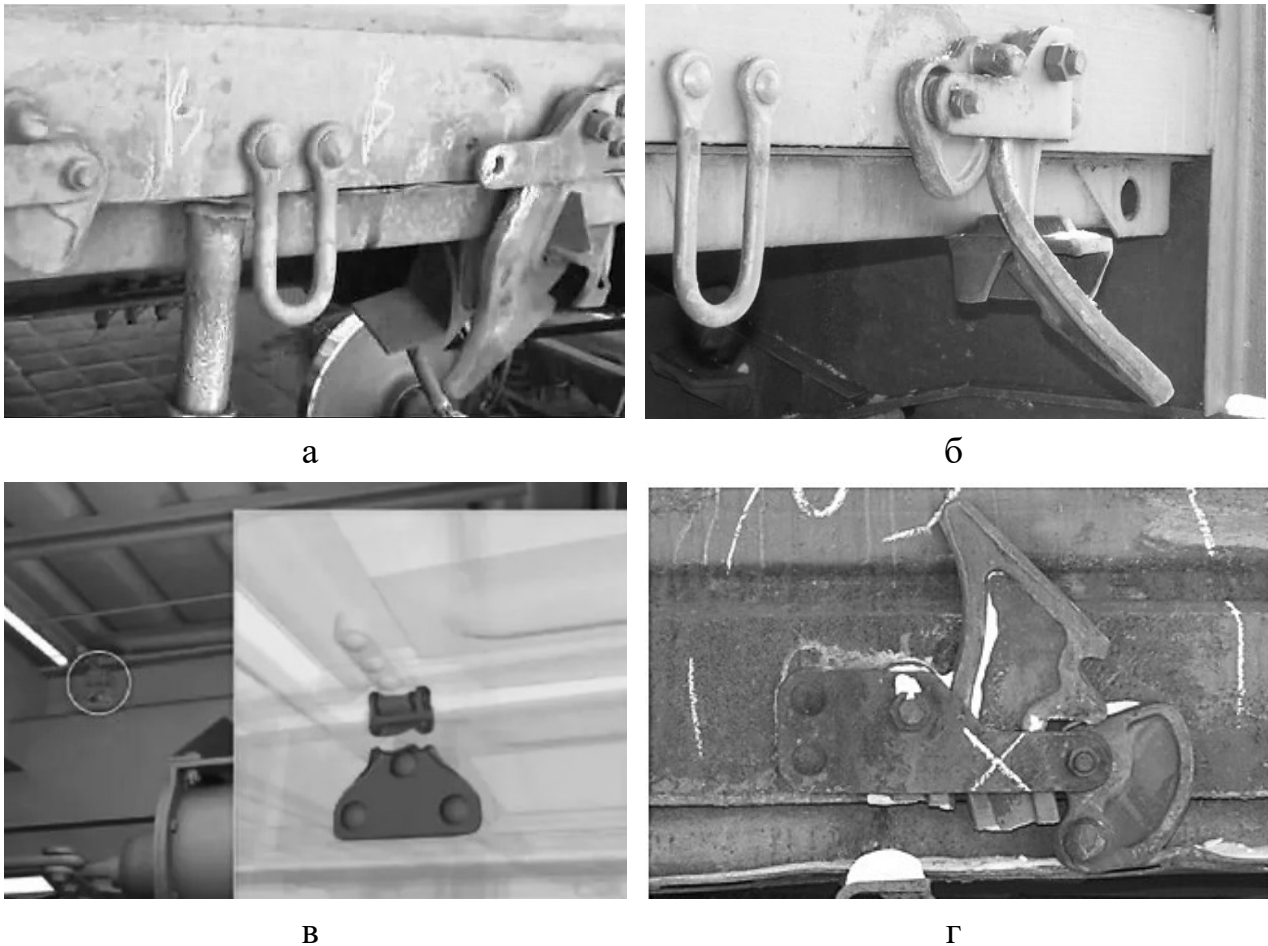


Рисунок 1 – Дефекты и повреждения деталей механизма закрывания крышки люка полувагона:

а – отсутствие заклепок крепления скобы; б – деформация закидки; в – обрыв шарнирного соединения люка; г – излом закидки

Таким образом, проектирование устройств открывания и закрывания крышек люков полувагона, позволяющих повысить уровень механизации, улучшив, тем самым, условия труда рабочих и избежав повреждения деталей механизма, является весьма актуальной задачей [2,3].

Анализ существующих средств механизации показал, что в настоящее время применяются различные конструкции механизмов, а именно:

1) Люкоподъемники предназначены для механизированного подъема люка при закрывании, используя силу одного рабочего (рис. 2).

Люкоподъемник модели ЛП-0,1-1,4 (рис. 2, а) состоит из рукоятки 1, крюка 2, храпового колеса 3, стального каната 4, крюка 5, верхней собачки 6 и нижней собачки 7. Работает по принципу лебедки, подтягивая канатом 4 с крюком 5 крышку люка 9 при вращении храпового колеса 3 нижней собачкой 7

за счет качающихся движений рукоятки 1. Основными недостатками конструкции являются использование ручного труда и закрепление крюка 2 на скобе 8, что способствует ослаблению ее крепления на кузове полувагона.

Люкоподъемник модели ЛКП-500 (1000) (рис. 2, б) подвешивается петлей за крюк тали, передвигающейся по монорельсу. Нижний крюк подъемника захватывает крышку люка и после включения привода тали начинается ее подъем до захвата закидками угольников люка.

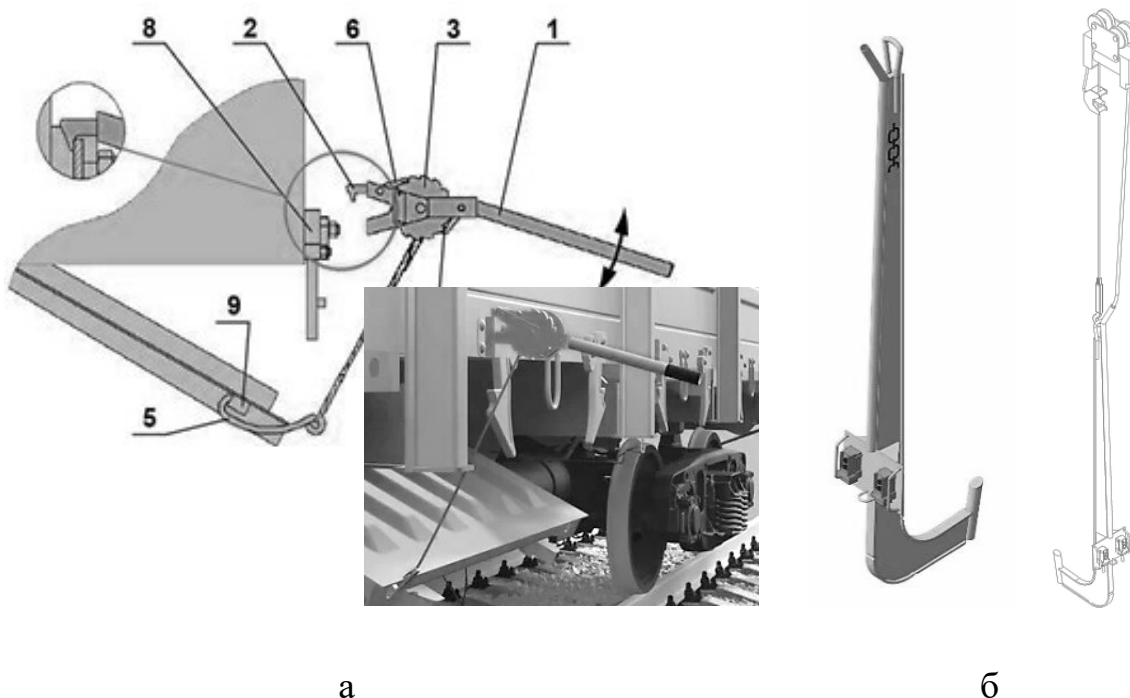


Рисунок 2 – Люкоподъемники: а – ЛП-0,1-1,4; б – ЛКП-500 и ЛКП-1000

Устройство обладает низкой устойчивостью и мобильностью, требует использования ручного труда для установки секторов и монтажа монорельса.

2) Гидравлические и пневматические устройства преобразуют усилие, развиваемое рабочей жидкостью или сжатым воздухом, в перемещение люка при подъеме, и позволяют работать в условиях криогенных температур (до -40°C).

Устройство гидравлическое автономное для закрывания крышек люков полувагонов УГЗЛ-2,4-60 (рис. 3, а) оснащено интегрированным ручным насосом с гидроцилиндром, к штоку которого прикреплена вилка с захватом. При качании рукояткой насосного модуля происходит выдвигание штока цилиндра вместе с вилкой, и захват совершает рабочий ход. К недостаткам

конструкции относятся использование ручного труда, трудоемкость монтажа на кузове вагона, а также низкая производительность.

Система передвижных домкратов (рис. 3, б), оснащенных пневмо- или электродвигателем, размещается на двух стойках и предназначена для механизации работы по закрыванию крышек люков полувагонов. Система имеет низкую производительность, ручной привод перемещения вдоль вагона и трудности при размещении под кузовом полувагона без выкатки тележек.



а



б

Рисунок 3 – Гидравлические и пневматические устройства:

а – УГЗЛ-2,4-60; б – система передвижных домкратов

Устройство модели 0905.00.000.000 (рис. 4) включает два люкоподъемника 1, каждый из которых состоит из пневмоцилиндра 2, штанги 5, ручки 9, педали 6 и рычага 4, соединенного шарнирно со штоком 3 пневмоцилиндра, в который по шлангам 7 подается сжатый воздух от компрессора, установленного на козловом кране. Регулируя краном 8 подачу воздуха, можно опускать или поднимать рычаг 4, закрывая крышку люка. Устройство требует использования крана и компрессора, имеет маломощный пневмопривод и обладает низкой мобильностью.

Адаптировать рассмотренные устройства для открывания крышек люков затруднительно, поскольку это потребует внесения существенных изменений в конструкцию оснастки, а зачастую это попросту невозможно. Однако, патентный поиск, показал, что подобные разработки проводились ранее.

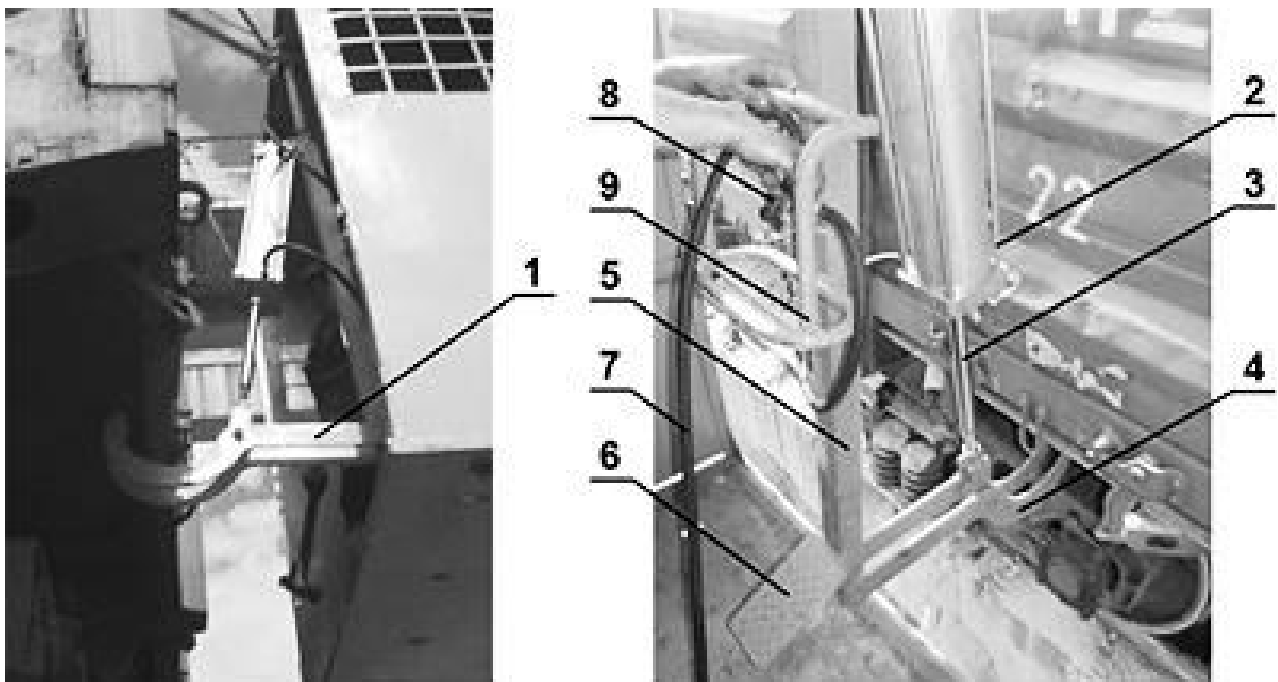


Рисунок 4 – Устройство мод. 0905.00.000.000

Например, устройство для открывания и закрывания крышек люков полувагонов (пат. SU.1537591.A1) представляет собой механизм, который должен монтироваться непосредственно на кузове полувагона (рис. 5). Принцип работы механизма основан на симметричной передаче усилия закидкам 3 через тяги 4, соединенные с общей осью 6, на которой закреплены ролики-противовесы 5, вертикально перемещающиеся вместе с осью 6 внутри паза кронштейна 7, жестко закрепленного на продольной балке 1 кузова. Перемещение роликов 5 вверх вручную или механически приводит к открытию люка 2, а при движении вниз до упора 8 – к его закрытию при заведении закидок 3 под угольники 10. Широкого распространения устройство не получило, в том числе, из-за необходимости внесения изменений в конструкцию кузова и применения независимых приспособлений для перемещения роликов, например, лебедок, траверс, аппарелей и погрузчиков.

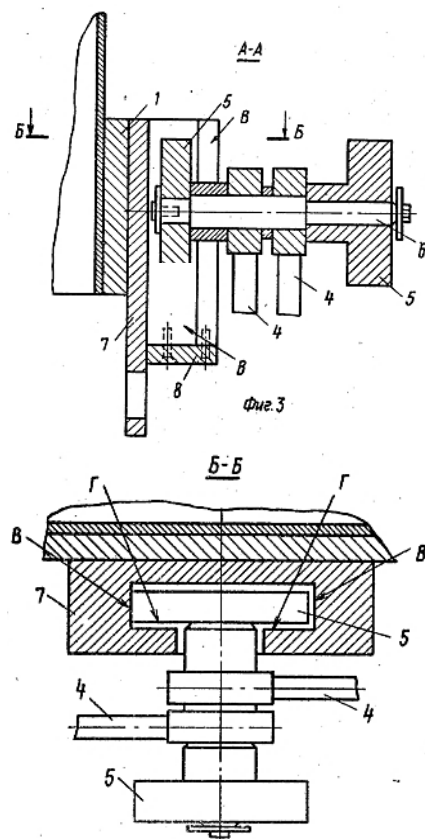
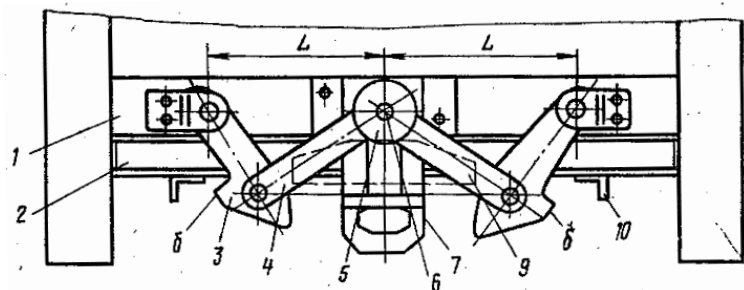


Рисунок 5 – Устройство для открывания и закрывания люков
(пат. SU.1537591.A1)

Устройство для открывания крышек люков железнодорожных полувагонов (рис. 6) навешивается тросом 8 с кольцом 9 на крюк грузоподъемного механизма, который поднимает его до контакта упора 10 на раме 1 с кузовом вагона. При этом штанги 3 в направляющих 2, поджимаемые пружинами 7, продолжают движение вверх до тех пор, пока нажимные планки 5 последовательно поворачивают секторы механизма закрывания, а пальцы 6 отводят закидки от угольников крышки люка. После опускания люка пружины 7 возвращают штанги 3 в исходное положение. Недостатки устройства заключаются в сложности его точной установки из-за гибкости троса, потребности в грузоподъемном механизме, повышенной нагрузке на планки 5 и стопорные кольца 4, снижении со временем гибкости пружины 7.

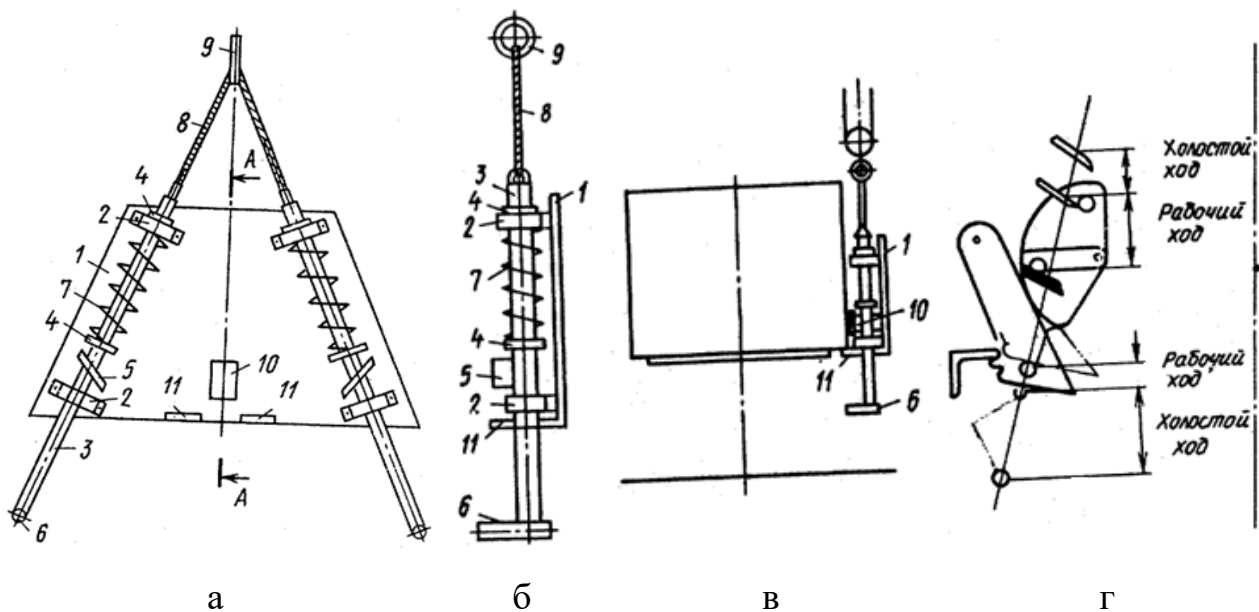


Рисунок 6 – Устройство для открывания крышек люков (пат. SU.1421585.A1):
 а – главный вид; б – вид справа; в – схема установки устройства на кузове полувагона; г –
 схема поворота сектора и подъема закидки

Полностью исключить использование ручного труда при открывании и закрывании крышек люков полувагонов в настоящее время затруднительно. Перспективным направлением механизации процесса открывания люков является внедрение роботизированных комплексов разгрузки полувагонов. С целью реализации инновационных технологий разработана модель (рис. 7) участка разгрузки полувагонов, оснащенная роботизированными установками, позволяющими выполнять операции открывания и закрывания крышек люков.

Проект участка включает две рабочие позиции с роботами, которые могут синхронно перемещаться вдоль продольной оси полувагона последовательно от одного люка до другого (рис. 7). Захваты манипулятора обеспечивают подъем секторов и отводят закидки в стороны, освобождая крышку люка. Кроме того, конструкция захватов позволяет в обратном порядке осуществить подъем крышки люка, установить закидки под угольниками и зафиксировать их секторами. После открывания или закрывания одного люка манипулятор перемещается на самоходной тележке к следующей позиции, а работая одновременно, роботизированные установки производят разгрузку полувагона в два раза быстрее.

Рабочие движения захватов регулируются программируемыми сервоприводами, обеспечивающими вращение конечных звеньев или

преобразование вращательного движения в поступательное, например, при подъеме секторов или разведении закидок в стороны.

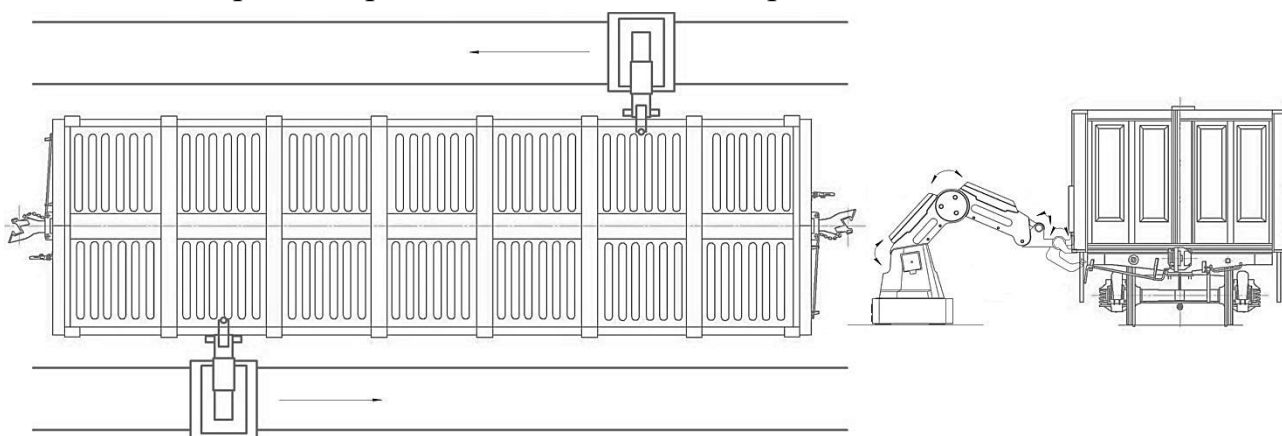


Рисунок 7 – Схема роботизированного участка разгрузки полувагонов

Представленную концепцию можно рассматривать в качестве прототипа технологического оборудования для разгрузки полувагонов, модернизировать конструкцию манипулятора, устанавливать различные виды захватов или использовать разные приводы в зависимости от выполняемых работ и типов обслуживаемых вагонов.

Список литературы

1. Романко, Ю. В. Грузовые вагоны нового поколения: конструкция, устройство, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава : учебное пособие / Ю. В. Романко. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2025. – 344 с. – 978-5-907836-24-2. — Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека.
2. Расулов Маруфджан Халикович, Каюмов Шохрух Шароф Угли. Разработка устройства для эффективного закрытия разгрузочных люков полувагонов при выполнении грузовых операций на транспорте // Известия Транссиба. 2023. №4 (56).
3. Акашев, А. З. Разработка способа разгрузки железнодорожных полувагонов через нижние люки / О. Т. Балабаев, Д. К. Саржанов, А. Е. Алимбаев, Е. Д. Абилда // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 5-2. С. 193-196.

Л. В. Исупова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ С ДРОНАМИ: ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕСТОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются гибридные системы с дронами для дистанционного контроля тестов преобразователей энергии. В работе анализируются ключевые компоненты гибридных систем, их преимущества, вызовы, реальные примеры внедрений в энергетике и перспективы развития.

Ключевые слова: гибридные системы, дроны, дистанционный контроль, тесты преобразователей

Гибридные системы, интегрирующие дроны с наземными или мобильными платформами, революционизируют тестирование энергетических преобразователей – устройств, преобразующих электрическую энергию, таких как DC/DC-, AC/DC-преобразователи и инверторы. Традиционные методы испытаний требуют ручного подключения датчиков в труднодоступных местах, что несёт риски для персонала, увеличивает затраты и замедляет процесс. Дистанционный контроль с помощью дронов позволяет проводить тесты в реальном времени, минимизируя человеческий фактор и обеспечивая мониторинг ключевых параметров: напряжение, ток, эффективность преобразования и тепловыделение [1].

Такие системы сочетают автономность беспилотников с точностью стационарных тестеров, что особенно актуально для ветровых турбин, солнечных ферм и арктических подстанций. В статье мы разберём архитектуру гибридных платформ, их преимущества и ограничения, приведём примеры внедрения и обсудим будущие тенденции.

Гибридная платформа состоит из нескольких интегрированных элементов, обеспечивающих автономность и точность измерений. Основу составляет мультикоптер, например DJI Matrice 300 RTK с грузоподъёмностью до 2,7 кг и временем полёта до 55 минут. Он оснащается полезной нагрузкой: мультиметром для измерения напряжения/тока, тепловизором (FLIR Vue TZ20 с разрешением 640x512 пикселей) и источником бесперебойного питания (ИБП) для стабильного энергоснабжения датчиков [3].

Наземная станция – роботизированный манипулятор или мобильный rover на базе электромобиля – принимает данные от дрона и проводит механическое подключение при необходимости. Система связи использует 5G для высокоскоростной передачи (до 1 Гбит/с) или LoRaWAN для удалённых зон с низким энергопотреблением; задержка (latency) не превышает 50 м/с для работы в реальном времени. Программное обеспечение на базе ROS (Robot Operating System) или кастомных скриптов Python с библиотеками TensorFlow анализирует данные: алгоритмы машинного обучения выявляют аномалии в I-V кривых методом кластеризации K-means.

Цикл тестирования включает позиционирование дрона на высоте до 100 м над преобразователем, фиксацию датчиков магнитными или вакуумными захватами и запуск нагрузочных тестов (импульсные нагрузки до 10 кВт). Edge-вычисления на борту снижают задержки, а данные агрегируются в облаке для отчётов [2].

Гибридные системы превосходят традиционные методы по ключевым метрикам. Они ускоряют тесты в 3–5 раз: инспекция ветровых турбин или солнечных ферм занимает часы вместо дней. Безопасность повышается за счёт управления из защищённого бункера, исключая контакт с высоковольтным оборудованием. Экономия достигает 40% на логистике, а точность ML-алгоритмов – 98% при выявлении дефектов, включая микротрещины в полупроводниках [1].

Гибридные системы с дронами предлагают значительные преимущества по сравнению с традиционными методами ручного тестирования, но сталкиваются с техническими ограничениями. Они ускоряют процесс инспекции в 3–5 раз, повышая безопасность за счёт удалённого управления и обеспечивая высокую точность анализа данных с помощью алгоритмов машинного обучения. Экономический эффект достигает 40% снижения затрат на логистику и обслуживание, что особенно заметно в крупных проектах возобновляемой энергетики [4].

Однако существуют ключевые ограничения, требующие инновационных решений. Зависимость от погодных условий (сильный ветер свыше 10 м/с или дождь) ограничивает полёты, полезная нагрузка не превышает 2 кг, что затрудняет установку тяжёлого оборудования, а задержки связи могут достигать критических значений. Для преодоления этих барьеров применяются AI-автопилот на базе моделей YOLO для точной навигации и уклонения от препятствий, edge-вычисления на борту дрона для локальной обработки данных и гибридное питание (водородные топливные элементы в сочетании с литий-

ионными батареями), обеспечивающее время полёта до 2 часов даже в автономном режиме [5].

Таблица 1 суммирует основные вызовы и решения с примерами технологий:

Таблица 1

Ограничения гибридных систем с дронами

Ограничения	Описание	Решение	Пример технологии
Погодная зависимость	Ветер >10 м/с, осадки ограничивают стабильность полёта.	AI-автопилот с сенсорами для динамической корректировки траектории.	YOLO v8 для реального времени распознавания ветровых потоков и препятствий.
Ограниченная грузоподъёмность	Полезная нагрузка до 2 кг не позволяет нести полные тестеры.	Лёгкие сенсоры + edge-AI для сжатия данных.	FLIR Vue TZ20 (0,4 кг) с бортовым ML-анализом I-V кривых.
Задержки связи	Задержки связи >50 мс искажает реальное время мониторинга.	Edge-вычисления и гибридные сети (5G/LoRa).	ROS2 с предиктивной компенсацией задержек.
Энергопотребление	Ограниченное время полёта (30–60 мин).	Гибридное питание для длительности полета.	H2 fuel cell + Li-Ion, до 2 ч автономии.

Эта таблица иллюстрирует, как решения повышают надёжность систем, делая их применимыми в 90% сценариев энергетики.

Практическое применение гибридных систем подтверждает их эффективность в реальных условиях, от офшорных ветропарков до арктических сетей. Далее рассматриваются ключевые кейсы 2023–2026 гг., демонстрирующие количественные результаты.

В проекте Siemens Energy FOD4Wind (Германия, 2023) дроны интегрировались с морскими платформами для инспекции офшорных инверторов ветровых турбин. Автоматический взлёт с судна позволил провести термографию, визуальный осмотр и доставку инструментов в гондолы на высоте 100+ м. Система выявила деградацию преобразователей на 15% раньше традиционных проверок, предотвратив сбой мощностью 2 МВт и сэкономив

около 500 тыс. евро. К 2030 г. ожидается сокращение простоев на 12 000 часов и снижение выбросов CO₂ на 13 000 тонн [1].

В США Национальная лаборатория возобновляемой энергии (NREL, 2025) применила DJI Matrice 300 с наземным роботом для тестирования 500 солнечных панелей. Тепловизоры зафиксировали локальные перегревы и дефекты в DC/DC-преобразователях с точностью 98%, выявив 12% неисправных устройств. Это позволило сэкономить 35% на плановом обслуживании, минимизируя простои ферм.

В России Росатом внедрил систему в Якутии (2024–2025) на арктических подстанциях в Центре испытаний беспилотных систем «Полярный». Дроны мониторили DC/DC-преобразователи в условиях -50°C, сократив простои на 30%. Дополнительно обеспечена доставка оборудования массой свыше 660 кг через реку Лену, что критично для удалённых объектов [5].

Дополнительные примеры включают Swoop Aero в Австралии (2024), где гибрид FPS20-10 с солнечными батареями обеспечил круглосуточные инспекции инфраструктуры, и Kleen Up Solar, использующую термо-дроны с ИИ по стандартам IEC для приоритетного ремонта инверторов на солнечных фермах. Эти кейсы иллюстрируют эволюцию от одиночных дронов к гибридным флотам с ИИ-анализом в реальном времени [1].

К 2030 году рынок дронов в энергетике вырастет до 25 млрд долларов, с акцентом на полную автономию и интеграцию с цифровыми экосистемами. Рои дронов (swarm-технологии, 10–100 единиц) позволят создавать «цифровые двойники» энергетической инфраструктуры: ИИ динамически распределяет задачи, такие как термография, сканирование электромагнитных полей (EMF) и мониторинг линий передачи, обеспечивая покрытие более 100 турбин в час с автоматической перестройкой при сбоях одного устройства [3].

ИИ для предиктивного обслуживания на базе LSTM-моделей будет прогнозировать отказы преобразователей по анализу I-V кривых и тепловых карт с точностью свыше 95%. Edge-АИ минимизирует задержки до 10 мс, а сети 6G обеспечат передачу терабайт данных в облако для глобального моделирования. Гибридное питание – водородные топливные элементы (H₂ fuel cell) в комбинации с двунаправленный DC-DC преобразователями массой менее 200г – продлит время полётов, дополненное технологиями сбора энергии от солнечных панелей или вибраций [4].

Оставшиеся вызовы включают сертификацию (стандарты EASA/FAA и IEC TS 62446-3 для инспекций), кибербезопасность (шифрование AES-256 и блокчейн для защиты данных) и адаптацию к погоде. Эти проблемы решаются с

помощью AI-автопилотов и специализированных арктических модификаций, как в проектах Росатома в Якутии. В России приоритет – освоение Арктики, глобально – поддержка «зелёной» энергетики с окупаемостью инвестиций (ROI) более 300% благодаря предиктивному обслуживанию (PdM). Гибридные системы сделают тестирование преобразователей энергоэффективным и масштабируемым, ускоряя глобальный переход к устойчивым источникам [2].

Гибридные системы с дронами обеспечивают качественный скачок в дистанционном контроле тестов энергетических преобразователей, заменяя ручной труд автономными цифровыми платформами. От мультикоптеров DJI Matrice с тепловизорами FLIR до роев с ИИ-анализом – технологии ускоряют инспекции, повышают безопасность и снижают затраты, доказав эффективность в проектах Siemens FOD4Wind, NREL и Росатома в Якутии.

Для России Арктические проекты Росатома станут драйвером внедрения, глобально – стандартизация ИЕС и IoT-интеграция сделают технологии промышленным стандартом тестирования преобразователей.

Список литературы

1. Drone endurance in hydrogen fuel cell hybrid technologies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024. Vol. 185. P. 113–125. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113604.

2. Актуальные вопросы создания и применения беспилотных летательных аппаратов / И. А. Байгутлина, М. Е. Бояров, А. Б. Давыдов [и др.]. – Москва : ООО "Сам Полиграфист", 2022. – 612 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47573663>

3. Ерзин, А.И. Размещение дронов для оптимального покрытия барьера / Ерзин, А.И., Шадрина, А.В. // Сибирский журнал промышленной математики. 2025. Т. 28. № 1. С. 45–56. URL: <https://sciact.math.nsc.ru/public/article/6510/en>

4. Богословский, А.В. Повышение эффективности энергообеспечения целевых нагрузок беспилотных авиационных систем с модульными преобразователями напряжений // КиберЛенинка. 2023.

5. Джавадов, Н. Г. Оптимизация применения гибридных мультироторных дронов для исследования атмосферы в режиме вертикального взлета / Н. Г. Джавадов, А. Б. г. Асланова // Труды МАИ. – 2022. – № 126. – DOI 10.34759/trd-2022-126-25. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49767585>

СЕКЦИЯ 3: ЭКОНОМИКА, ОБЩЕСТВО И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЕ

УДК 130.2

С. П. Рекунчак

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

МЕТАМОДЕРН КАК АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КУЛЬТУРЫ

В статье рассматривается метамодерн как концептуальный ответ на кризис постмодерна в современной культуре. Анализируются ключевые характеристики современной культурной ситуации: стремление к локальности, распространение цифровых технологий. Особое внимание уделяется методологическим принципам метамодерна, в частности, осцилляции как колебанию между противоположными полюсами для конструирования нового целого. Подчеркивается плюрализм и аксиологическая направленность метамодерна, его способность интегрировать предшествующие культурные парадигмы. Делается вывод о высокой эвристической ценности подхода метамодерна для описания и понимания современности.

Ключевые слова: метамодерн, культурная ситуация, осцилляция, постмодерн, современность.

С начала XXI века появляется обширная группа концепций в сфере философии культуры, которая пытается осмыслить современное состояние культуры. Это состояние характеризуется как кризисом модерновых идеалов, так и повсеместным отказом от идеалов постмодерна. В. И. Спиридонова обращает внимание на разочарование в ироничности постмодернизма, выглядящей, скорее, как «защитная» реакция на культурную ситуацию середины XX века [1, с. 41], А. В. Павлов указывает на разобщённость постмодернизма, усталость от него [2, с. 126] (постмодернизм как, по сути, является не какой-то целостной теорией, а набором авторских концепций).

Как можно характеризовать современную культурную ситуацию? Можно отметить стремление к локализации и локальности в культуре, понимаемой в

широком смысле. В экономике это проявляется через стратегии разных стран к импортозамещению, возвращению производств на свою территорию. В музыке этому соответствует растущий интерес к национальным традициям: возвращение популярности народных песен в исполнении Н. Кадышевой, джазовые обработки народных песен (Е. Унгвари), рост числа групп в направлении новый фолк (Nu-folk) за рубежом и в России. С другой стороны, если затронуть сферу политики, можно отметить возрождение националистических идей (маркируемых обычно словом «правый» в спектре политических течений), ресентимента, роста популизма. Эти тенденции вполне соотносимы с упрощением культурного поля, когда даже субъекты самоидентифицируются клиповым образом, выбирая всегда простые, «близкие», «короткие» объяснения и решения. В этой связи также можно говорить о возвращении в культуру мифотворчества [3, с. 409-410] (политического, культурного, в сфере медиа и рекламы).

Наконец, современную культурную ситуацию характеризует повсеместное распространение цифровых технологий: от ризоматических систем связи, Интернета, AR/VR «миров» до успехов нейронных сетей, в том числе так называемого «искусственного интеллекта». Все эти технологии не только становятся неотъемлемой частью повседневности, но и имеют широкое применение в сфере культуры: от появления новых способов обращения человека к культуре (виртуальные и иммерсивные выставки, появление цифрового искусства, NFT) до использования нейросетей для восстановления культурных памятников («Факультетские картины» Климта, «Ночной дозор» Рембрандта, реконструкции фресок Ферапонтова монастыря в Вологодской области, фресок пещер Дуньхуана в Китае, индийских росписи Аджанты), даже утраченных (как, например, расшифровка геркуланумских свитков).

Само завершение эпохи постмодерна, провозглашенное Л. Хатчеон [4, с. 165-166], породило вопрос о новом состоянии современности, хронологически и синтаксически обозначаемым в литературе «зонтичным» термином постпостмодерн [2, с. 22]. Если же говорить о качественном определении эпохи после постмодерна, то в спектре появившихся концепций (диджимодернизм, альтермодернизм, ремодернизм и т.д.) можно выделить концепцию метамодернизма, которая приобретает все большую популярность не только в

академической среде [5, с. 3], но и на уровне массового информационного поля. Чтобы показать это, был проведен количественный анализ результатов в поисковой выдаче Google по ключевым словам «метамодерн» / «метамодернизм» с момента введения в широкий оборот термина в 2010 г. Т. Вермюленом и Р. Аккером [6]. На графике (Рис.1) показано ежегодное увеличение числа источников, проиндексированных Google, как в англоязычном, так и в русскоязычном сегменте сети Интернет по ключевым словам «метамодерн» и «метамодернизм». При формировании поисковых запросов строго ограничивалась датировка результатов в выдаче пределами исследуемого года, после чего количество найденных источников по обоим ключевым словам суммировалось, что составляло результирующую оценку источников по данным ключевым словам за год. То же самое было посчитано для данных ключевых слов, написанных не кириллицей, а латиницей. Термином «Метамодерн» по мнению Павлова [5, с. 1] выражается культурная эпоха и логика, описывающая современное состояние культуры, в то время как «метамодернизм» - термин, обозначающий художественные, философские и социальные течения, пытающиеся осмыслить эту эпоху и логику.

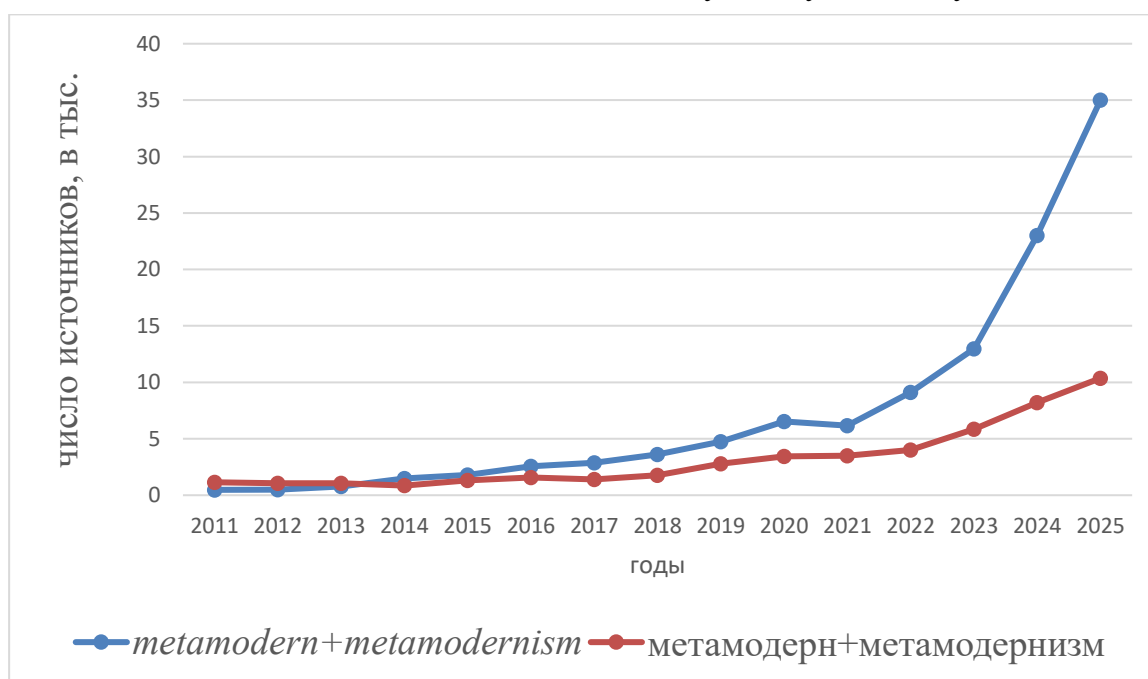


Рисунок 1 – Число источников в поисковых результатах Google по годам в тыс.

ИТ. ПО КЛЮЧЕВЫМ СЛОВАМ:

- 1) metamodern и metamodernism (латиницей), и 2) метамодерн и метамодернизм (кириллицей)

Метамодернизм ввели с современной оборот голландские философы и теоретики культуры Вермюлен и Аккер в работе 2010 г., где определили его как новый *Zeitgeist* (дух времени), как изменение в структуре чувства [6, с. 57]. Позже К. М. Рецова уточнила, что словосочетание «structure of feeling» корректнее переводить не как «структура чувства», а «структура восприятия» [7, с. 14]. Аккер в 2017 г., опираясь на концепцию Ф. Джеймисона, описали метамодернизм как особый этап в развитии западных капиталистических обществ [8, с. 38], обращаясь к влиянию глобализации, экономики на все сферы культуры.

Само изменение структуры восприятия метамодерном основано, прежде всего, на принципе удержания в дискурсе разных позиций, идеалов с помощью колебаний, осцилляций между их «полюсами», метаксиса («мета» в значении «между», «за», «над»). Это такое движение, когда мы одновременно понимаем ограниченность каждого из рассматриваемых подходов, но используем их сильные стороны и концепции для ре-конструирования нового целого. Это качество рассматривается как между идеалами премодерна, конструкциями модерна и деконструкциями постмодерна в культурных практиках, так и в более широких дискурсах науки, политики, философии. В этом смысле, если постмодерн занимал критическую позицию по отношению к предыдущему периоду модерна, то метамодерн учитывает и стремление к построению гранд-нарративов модерна, и одновременно удерживает позицию сомнения и деконструкции этих гранд-нарративов постмодерном.

К другим принципам метамодерна можно отнести основанное на диалоге / полилоге мышление, а также парадоксальное понимание истины, которая оказывается также локальной [9, с. 9]. Примером указанной локальности истины в метамодерне может указать не только на своеобразие индивидуального восприятия мира конкретным человеком [10], но и все кросс-культурные исследования различий в восприятии мира разными культурами, а также и противоположные взгляды на предмет спора у разных стран в межгосударственном диалоге.

Кроме того, необходимо отметить доминирование в дискурсе метамодерна аксиологического, ценностного измерения и важности для него этических проблем [9, с. 10-11]. Это обращение к ценностным и этическим проблемам

отличает метамодерн от модерна с его доминированием эпистемологической проблематики и от постмодерна с его вниманием к онтологии. Подход метамодерна заключается в диалоге между иерархическими и сетевыми, ризоматически выстроенными социальными отношениями и ценностями.

Сама осцилляция между разнородными полюсами предполагает определенный методологический плюрализм, свойственный метамодерну, когда в обращении к одному и тому же предмету, мы используем разные подходы (разные дискурсы), смотрим на него с разных точек зрения. Это позволило метамодерну ассимилировать конкурирующие с ним концепции начала XXI в. - перформатизм Р. Эшельмана и реновализм Дж. Тота, гипермодернизм Ж. Липовецкого. Также плюрализм метамодерна широко проявляется при обращении к междисциплинарным, смешанным подходам в научном исследовании, например, когда мы обращаемся к количественным методам и к качественным методам одновременно.

Наконец, в современной культурной ситуации можно одновременное заметить существование в дискурсе предыдущих этапов культурной эволюции (модерна и постмодерна). Удержание этой одновременности принципиально важно для метамодерна. Оно признает не только существование и актуальность предыдущих стадий развития культуры в настоящем, но и акцентирует внимание на их взаимосвязи, сплетении в «культурной ткани» современности.

В заключение стоит отметить, что, несмотря на стремительное распространение метамодерна на различные сферы культуры и научного знания, которое свидетельствует о его большом потенциале, этот потенциал еще не в полной мере раскрыт и реализован. Для понимания особенностей функционирования современной культуры необходимо использовать подходы, которые в большей степени отражают ее актуальное состояние и имеют существенную эвристическую ценность. Концепция метамодерна удовлетворяет указанным критериям, что позволяет описывать актуальное состояние культуры как состояние метамодерна.

Научный руководитель – О. В. Хлебникова, доктор философских наук, профессор, доцент кафедры «История, философия и культурология» ОмГУПС.

Список литературы

1. Спиридонова, В. И. «Новая современность» и традиционные ценности / В. И. Спиридонова // *Философские науки*. - 2017. - №6. - С. 35-49.
2. Павлов, А. В. Постпостмодернизм: как социальная и культурная теории объясняют наше время / А. В. Павлов ; Москва : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2019. - 560 с.
3. Яковлева, Е. Л. Современность и мифосознание Человека / Е. Л. Яковлева // *Новые методы в решении фундаментальных проблем социальной философии: синергийная антропология. Материалы Всероссийской научно-практической конференции 19-20 ноября 2009 г.* / - Казань : Изд-во "Познание" Института экономики, управления и права, 2009. - С. 408-414.
4. Hutcheon, L. *The Politics of Postmodernism* / L. Hutcheon ; New York, London : Routledge, 2002. – 232 p. – DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203426050>
5. Павлов, А. В. Образы современности в XXI веке: метамодернизм / А. В. Павлов // *Логос*. – 2018. – Т. 28, #6. - С. 1-19.
6. Vermeulen, T., Van den Akker, R. Notes on metamodernism / T. Vermeulen, R. Van den Akker // *Journal of Aesthetics and Culture*. – 2010. – №2. p. 56–77. - DOI: <http://doi.org/10.3402/jac.v2i0.5677>
7. Рецова, К. М. *Метамодерн как экзистенциальный вызов: социокультурный аспект: специальность 5.10.1 «Теория и история культуры, искусства» : автореф. дис. ...канд. филос. наук* / К. М. Рецова ; ЮФУ. - Ростов-на-Дону, 2023. – 22 с.
8. *Метамодернизм. Историчность, Аффект и Глубина после постмодернизма* / Р. Ван ден Аккер. Москва : РИПОЛ классик, 2020. - 342 с.
9. Pipere, A., Martinsone, K. *Metamodernism and Social Sciences: Scoping the Future* / A. Pipere, K. Martisonne // *Soc. Sci.* - 2022, - 11, 457. - DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci11100457>
10. Abramson, S. *Ten Basic Principles of Metamodernism* / S. Abramson // - Huffpost, 2017. - URL: https://www.huffpost.com/entry/ten-key-principles-in-met_b_7143202. (дата обращения: 22.01.2026)

Н. А. Корпусова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ЦИКЛИЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В АПК ОМСКОЙ ОБЛАСТИ: АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ МИКРОДАННЫХ

В статье анализируется цикличность воспроизводства человеческих ресурсов в агропромышленном комплексе Омской области на основе данных Всероссийской сельскохозяйственной переписи и региональной статистики. Рассматриваются стадии формирования, использования, восстановления, развития и повторного вовлечения человеческих ресурсов. Выявлены ключевые разрывы между стадиями цикла воспроизводства, обусловленные миграционным оттоком и структурными изменениями в сельском хозяйстве региона. Показано преобладание линейной модели воспроизводства над циклической, что снижает устойчивость кадрового обеспечения АПК.

Ключевые слова: человеческие ресурсы, воспроизводство, цикличность, агропромышленный комплекс, Омская область, трудовой потенциал, сельскохозяйственная перепись.

Воспроизводство человеческих ресурсов в агропромышленном комплексе России переживает системный кризис, проявляющийся в сокращении численности занятых, старении кадров и нарастающем дефиците квалифицированных специалистов. По оценкам Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, дефицит кадров в АПК превышает 200 тысяч человек [1]. Омская область, являясь одним из ключевых аграрных регионов Сибири, демонстрирует типичные проблемы воспроизводства человеческих ресурсов: за период 2012–2024 годов сельское население сократилось на 91 тысячу человек (более 16%), укомплектованность кадрами составляет лишь 71%.

Актуальность исследования определяется необходимостью выявления закономерностей воспроизводства человеческих ресурсов для разработки эффективных мер кадровой политики в АПК. Выбор Омской области обусловлен наличием репрезентативной статистической базы, включая данные Всероссийских сельскохозяйственных переписей 2016 и 2021 годов, а также развитой системой аграрного образования на базе ОмГАУ им. П.А. Столыпина. Цель статьи — проанализировать особенности цикличности воспроизводства

человеческих ресурсов в АПК Омской области на основе микроданных сельскохозяйственных переписей.

Теоретической основой исследования выступает концепция воспроизводства человеческих ресурсов, развитая в трудах С. Г. Землянухиной, Ю. Г. Одегова, Н. К. Долгушкина и других исследователей [2, 3]. Воспроизводство человеческих ресурсов понимается как непрерывный процесс возобновления способности работников к труду, включающий качественные характеристики — образовательный и профессиональный уровень рабочей силы.

Принципиальное различие между линейной и циклической моделями состоит в трактовке возвратности: линейная предполагает движение «формирование → использование → выбытие», циклическая признаёт многократное прохождение стадий в течение трудовой жизни [4]. Для АПК циклическая модель релевантна благодаря сезонности производства.

Методология основана на стадийном анализе с использованием данных Всероссийских сельскохозяйственных переписей 2016 и 2021 годов, материалов Омскстата и Минсельхозпрода области. Микроданные позволяют дифференцировать анализ по формам хозяйствования: СХО, КФХ и ЛПХ. Структуризация отражает различия механизмов воспроизводства: в СХО — формализованное через профессиональное образование, в ЛПХ — неформальное через семейную передачу навыков.

Анализ демографической базы воспроизводства человеческих ресурсов в АПК Омской области выявил устойчивую тенденцию сокращения сельского населения. На 1 января 2025 года численность сельского населения составила 469 194 человека (26% от общей численности региона), тогда как в 2012 году она достигала 560,4 тыс. человек [5]. Естественное движение населения характеризуется устойчивой убылью: в 2024 году естественная убыль составила около 10–11 тыс. человек.

Занятость в сельском хозяйстве демонстрирует устойчивое снижение: среднесписочная численность работников сократилась с 20 057 человек в 2021 году до 16 490 человек в 2024 году — на 17,8% за четыре года [5]. Заработная плата в АПК выросла на 70% (с 30 078 до 51 184 руб.), постепенно сокращая разрыв со средним уровнем по региону с 73% до 78%. Однако этот рост не компенсирует отток кадров. Результаты стадийного анализа воспроизводства человеческих ресурсов представлены в таблице 1.

Цикличность воспроизводства ЧР в АПК Омской области

Стадия	Индикаторы	Характеристика
Формирование	Выпуск ОмГАУ, агроклассы	70% студентов из сельской местности; более 50 учеников агроклассов
Использование	Занятость, укомплектованность	16 490 чел. (2024 г.); укомплектованность 71%
Восстановление	Условия труда, заработная плата	78% от средней по региону; сезонность нагрузки
Развитие	Переподготовка, ДПО	Более 2 000 специалистов ежегодно в ИПК ОмГАУ
Повторное вовлечение	Миграция, возврат кадров	Убыль 56 тыс. чел. за 13 лет; низкий возврат

Источник: составлено автором на основе сельскохозяйственной микропереписи и данных ОмГАУ им. П.А. Столыпина

Данные таблицы свидетельствуют о существенных разрывах между стадиями цикла воспроизводства. На стадии формирования ОмГАУ им. П.А. Столыпина обеспечивает подготовку кадров (70% студентов — выходцы из сельской местности), однако закрепляемость выпускников в отрасли остаётся низкой. На стадии использования критический показатель укомплектованности (71%) при растущих зарплатах указывает на системный дисбаланс между подготовкой и трудоустройством кадров.

Главным фактором нарушения цикла воспроизводства выступает миграционный отток, разрывающий цепочку на стадии повторного вовлечения. За период 2011–2023 годов миграционная убыль сельского населения достигла 56 214 человек [6]. Отток населения преимущественно трудоспособного возраста в другие регионы Российской Федерации усиливает дефицит рабочей силы в сельском хозяйстве и ограничивает возможности воспроизводства человеческих ресурсов в АПК. В условиях компенсирующей международной миграции данные процессы не приводят к полному восполнению человеческих ресурсов сельских территорий, что сохраняет структурные ограничения развития аграрного сектора Омской области и исключает возвращение работников в региональный АПК.

Особую роль в воспроизводстве человеческих ресурсов играют личные подсобные хозяйства. По данным регионального Минсельхозпрода, в Омской

области функционируют около 300 СХО, 2 300 КФХ и более 280 тыс. ЛПХ. На КФХ и ЛПХ приходится более 63,5% занятых в отрасли [7]. В отличие от СХО, где воспроизводство носит институциональный характер, в ЛПХ оно реализуется через неформальные механизмы семейной передачи навыков, что обеспечивает определённую устойчивость, но ограничивает возможности модернизации.

Причины незамыкания цикла воспроизводства носят комплексный характер: недостаточное развитие социальной инфраструктуры сельских территорий (обеспеченность питьевой водой — 31,4%, газификация — 22%), разрыв в уровне зарплат между городом и селом, устаревание образовательных программ. По данным анкетирования 1 578 обучающихся, 68% респондентов не готовы развивать компетенции в области цифровизации сельского хозяйства [8].

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы.

В агропромышленном комплексе Омской области преобладает линейная модель воспроизводства человеческих ресурсов, при которой работники последовательно проходят стадии формирования, использования и выбытия без замыкания цикла через повторное вовлечение. Миграционный отток выступает ключевым фактором разрыва данного цикла, исключая возврат кадров в региональный АПК и тем самым снижая устойчивость воспроизводства.

Дифференциация по формам хозяйствования определяет неоднородность механизмов воспроизводства человеческих ресурсов: в СХО он реализуется преимущественно через институциональные каналы профессионального образования и занятости, тогда как в ЛПХ — через неформальные семейные практики передачи навыков. В указанных условиях использование отдельных показателей не позволяет адекватно оценить степень устойчивости воспроизводства человеческих ресурсов, поскольку они фиксируют статическое состояние, но не отражают фазу и направленность цикла. Это обуславливает необходимость применения интегральных инструментов анализа, позволяющих количественно оценить кадровую устойчивость региона с учетом этапов цикличности воспроизводства человеческих ресурсов. Необходимо развитие аналитических инструментов оценки цикличности воспроизводства, включая индексы замыкаемости цикла.

Научный руководитель – И. А. Волкова, доктор экономических наук, профессор кафедры «Менеджмента, маркетинга и коммерции» ОмГУПС.

Список литературы

1. Об утверждении федерального проекта «Кадры в АПК»: распоряжение Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2024 г. № 934-р. – Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 15.01.2026).
2. Землянухина, С. Г. Современные проблемы воспроизводства человеческих ресурсов: [монография] / [С. Г. Землянухина и др.]; под ред. С. Г. Землянухиной; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Саратов. гос. техн. ун-т. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005 (Саратов: РИЦ СГТУ). - 277, [2] с.– Текст: непосредственный.
3. Долгушкин, Н. К. Формирование кадрового потенциала сельского хозяйства: вопросы теории и практики / Н. К. Долгушкин. – Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 360 с. – Текст: непосредственный.
4. Лаврентьева, И. В. Стратегия опережающего развития в моделях расширенного воспроизводства трудовых ресурсов / И. В. Лаврентьева, Н. К. Топузов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 76-86. – DOI 10.14529/em230407. – Текст: непосредственный.
5. Омская область в цифрах: статистический сборник / Омкстат. – Омск, 2024. – 245 с. – Текст: электронный // Управление Росстата по Омской области. – URL: <https://55.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 20.01.2026).
6. Косенчук, О. В. Управление трудовым потенциалом сельских территорий в Омском регионе / О. В. Косенчук // Экономика труда. – 2024. – Т. 11, № 9. – С. 1421–1436. – Текст: непосредственный.
7. О государственной программе Омской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Омской области»: постановление Правительства Омской области от 15.10.2013 № 252-п. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 18.01.2026).
8. Зинич, Л. В. Современный кадровый потенциал сельскохозяйственных организаций: механизм формирования человеческого капитала в условиях цифровизации / Л. В. Зинич, Н. А. Кузнецова // Продовольственная политика и безопасность. – 2023. – Т. 10, № 4. – С. 557–574. – Текст: непосредственный.

В. С. Кузнецов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНОЕ МОЛЧАНИЕ В МИРЕ ТОТАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ШУМА

В статье в рамках философской антропологии и философии культуры анализируется феномен активного молчания как экзистенциального ресурса сохранения внутреннего человека в условиях техногенного шума и девальвации слова. В ходе исследования становится ясно, что интенциональное молчание получает осмысление через герменевтику молчания М. Хайдеггера и В. В. Бибихина, а также через концепт культуры себя М. Фуко. Такое молчание может выступать практикой сопротивления процессам расчеловечивания в современной техногенной среде.

Ключевые слова: активное молчание; техногенный шум; герменевтика молчания; внутренний человек; расчеловечивание.

Современная техногенная среда задает человеку устойчивый акустический и информационный фон. Шум выступает не случайной помехой. Он становится постоянным условием повседневности. Исследования акустического загрязнения мегаполиса выявляют хронический стресс и привыкание к шумовой атаке. Средний горожанин в наши дни все чаще воспринимает шум как норму [1, с. 13–16]. Печатное слово и живая речь в этих условиях теряют статус «события понимания». Они превращаются в быстро расходуемый сигнал.

Философско-антропологический анализ молчания позволяет уточнить структуру этой ситуации. В понимании М. Хайдеггера и В. В. Бибихина молчание выступает феноменом культуры. Оно не обозначает пустоту или просто отсутствие речи. Оно удерживает полноту смысла и способ присутствия человеческого бытия [2, с. 48–49]. Хайдеггеровская логика рассуждения показывает, что молчание поддерживает подлинное понимание и удерживает речь от распада в говорливость [3, с. 102–103]. Концепт «культуры себя» у М. Фуко задает перспективу, в которой молчание получает статус техники внутренней работы и самосохранения [4, с. 5–7].

Проблема связана с судьбой «внутреннего человека» в условиях техногенного шума и девальвации печатного слова и речи. В ситуации тотальной артикуляции субъект рискует стать «диктофоном» для ретрансляции чужих сообщений. Тогда ослабевает способность к присвоению смысла. Исходный тезис таков. Молчание следует понимать не как простое отсутствие слов. Оно выступает как активная защита внутреннего человека. Оно задает режим внимания и рефлексии. Этот режим позволяет выдержать паузу, которая нужна для переработки и присвоения полученной информации. Экзистенциальное молчание в этом смысле открывает возможность возвращения к подлинной речи. Такая речь исходит из опыта, который человек прожил, и не сводится к повторению готовых формул.

Техногенный шум в этом ракурсе имеет не только физическое измерение. Он видится, как коммуникативно-информационный и семиотический характер. Мы видим, как техногенная среда наполняет повседневность потоком уведомлений, рекламных образов и стандартных формул общения. Избыток знаков требует немедленной реакции и почти не допускает паузы. Высказывание в таком режиме принимает форму короткого сигнала. Современная информационная культура стремится заменить естественный язык формализованными кодами. Эти коды упрощают техническую коммуникацию. Они сужают пространство живого говорения и возможности быть услышанным [2, с. 51–52]. Здесь шум начинает определять не только внешние условия жизни. Он насильно перестраивает внутреннюю конфигурацию опыта, сводя её к минимуму, или полностью стирая личность, так как промежуток в виде рефлексии между услышанным и сказанным вовсе не наступает [2, с. 51–52].

Герменевтическая перспектива позволяет представить молчание, как событие бытия. Молчание не сводится к простой, буквальной паузе между высказываниями. Оно задает иной режим речи. В этом режиме смысл не исчезает. Он уплотняется и удерживается. Я. С. Чернова и Е. Ю. Талалаева подчеркивают, что речь у М. Хайдеггера шире совокупности слов. Она возможна и за пределами вербальной артикуляции [3, с. 102]. Авторы вводят понятие логики молчания. Это понятие описывает уровень, на котором молчание не подавляет речь. Оно делает речь возможной и подлинной [3, с. 103–104]. Здесь молчание поддерживает способность слушать и открываться смыслу. Человек получает шанс соотнести собственное существование с зовом бытия. В этом

контексте речь не предшествует молчанию и не противопоставляется ему. Речь вырастает из молчания как из первичного онтологического поля.

Сопоставление хайдеггеровской перспективы и позиции В. В. Бибихина детально уточняет культурный статус молчания. Л. А. Клюкина и Д. Ю. Баландин показывают, что у М. Хайдеггера молчание выражает полноту смысла и поддерживает присутствие человеческого бытия в культуре [2, с. 48–49]. В медленном и вдумчивом чтении, по В. В. Бибихину, молчание выступает условием смысла и основанием значимости прочитанного [2, с. 52]. Молчание связывается с апофатической традицией. Оно сохраняет напряжение присутствия там, где высказывание оказывается невозможным [2, с. 55–56]. В ситуации, когда техническая коммуникация вытесняет живой язык, молчание у В. В. Бибихина выступает формой сопротивления замещению [2, с. 56–57]. Там, где слово утрачивает связь с опытом, активное молчание удерживает возможность такого опыта.

Антропологическая же значимость молчания проявляется в анализе внутренней жизни. Е. Л. Яковлева трактует молчание как экзистенциал человеческого бытия [5, с. 251–252]. На материале опыта Н. И. Фешина она показывает активный характер избранного молчания. Молчание художника выступает формой самопонимания. Оно поддерживает самосборку субъекта. Мастерская становится пространством тишины и уединения. Здесь молчание открывает художника бытию и поддерживает акт трансцендирования [5, с. 252]. Техника *non finito* получает интерпретацию как визуальное воплощение молчания. Она сохраняет пространство тишины для индивидуальной интерпретации и не дает окончательного ответа на метафизические вопросы [5, с. 261].

Понятие внутреннего человека получает культурологическое уточнение через концепт культуры себя М. Фуко. Ю. А. Асоян интерпретирует культуру себя как метакатегорию заботы о себе. Эта «забота» по Фуко, включает упражнения и самопроверку. Эти практики конституируют субъекта и создают способ быть [4, с. 6–8]. Важным становится и отношение к речи. М. Фуко противопоставляет философию и риторическую пайдейю. Философия в деле заботы о себе дает тихий совет. Пайдейя формирует культуру мастеров словесного шума и поддерживает публичную демонстрацию [4, с. 17–20]. В этой

оптике молчание выступает элементом культуры себя. Оно как бы поддерживает внутренний диалог и дисциплину высказывания каждого говорящего.

Мотив умолчания усиливается в анализе совести. В «Бытии и времени» совесть описывает зов, который размыкает присутствие для собственной способности быть самим собой и выводит его из шума двусмысленных толков [8, с. 295–296]. М. Хайдеггер характеризует соответствующий модус речи как умолчание [8, с. 15–16]. А. С. Емельянов подчеркивает, что совесть удерживает человека в интенции выбора и задает внутреннюю установку [9, с. 15–20]. Это измерение позволяет трактовать активное молчание как условие решения. Оно отделяет субъекта от рассеянной самости и возвращает ему способность к ответственности.

Как ранее было замечено выше, активное молчание связано с проблемой сохранения внутреннего человека. Е. Ф. Куземина, опираясь на В. В. Бибихина, подчеркивает, что человека хранит слово, которое прошло испытание порогом молчания [7]. Молчание здесь выступает инаковым измерением языка. Оно поддерживает раскрытие себя через слушание. В условиях техногенного шума такая форма молчания дает возможность остаться человеком, который способен вслушиваться, судить и отвечать, а не быть носителем чужого смысла и слова, передавая его иной раз практически дословно.

Стоит заметить и то, что культура публичной видимости усиливает социальный парадокс молчания. Молчание часто воспринимается как признак неуспеха или недостаточной компетентности. Сам собой напрашивается обывательский вывод человека нашей эпохи: «Молчит – значит сказать нечего». Практики молчания же уходят на периферию закрепленных культурных форм [4, с. 17–23]. Одновременно с этим всё больше возникает так называемая экономика тишины. Растет интерес к ретритам (например, буддийским), цифровому детоксу и специально созданным пространствам тишины. Этот интерес можно рассматривать как рыночную реакцию на нейрональное насилие позитивности и на опыт усталости, который описывает Бён Чхоль Хан [6, с. 14–22]. Коммерциализация тишины несет риск профанации молчания. Тишина может превратиться в потребляемый сервис. Тогда исчезает требование внутренней дисциплины и подлинного отношения к себе. Всё это может оказываться иной раз платным «аттракционом».

Заметим, в условиях техногенного шума молчание утрачивает статус простого отсутствия речи. Оно проявляет себя как антропологический ресурс. Молчание выступает событием отклика на зов бытия и удерживает язык от превращения в болтовню [2, с. 48–52; 7]. Оно также выступает техникой себя в фукодианском смысле. Эта техника поддерживает экологию внутреннего мира и защищает внутреннего человека от растворения в шуме внешнего дискурса [4, с. 5–7; 7]. Будущее человеческого в техногенной среде зависит от траектории технологий. Оно зависит и от сохранения этой экологии. Активное молчание остается редким жестом, который прерывает экспансию шума и возвращает человеку возможность подлинного присутствия.

Список литературы

1. Кузнецова, В. В. Воздействие шума на жизнь человека в современном мегаполисе: особенности и опасности // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. 2019. Т. 8. № 6А. С. 13–22.
2. Клюкина, Л. А. Феномен молчания в культуре: М. Хайдеггер и В. Биbihин // Вестник славянских культур. 2024. Т. 74. С. 48–58.
3. Чернова, Я. С. Онтологическая сущность молчания в философии М. Хайдеггера // Манускрипт. 2020. Т. 13. № 2. С. 102–105.
4. Асоян, Ю. А. «Культура себя»: к генеалогии одного понятия Мишеля Фуко // Культурология. 2012. № 1. С. 5–20.
5. Яковлева, Е. Л. Особенности молчания Н. И. Фешина: попытка понимания экзистенциального опыта // Гуманитарий: актуальные проблемы гуманитарной науки и образования. 2025. Т. 25. № 3 (71). С. 249–262.
6. Хан Бён-Чхоль. Общество усталости. Негативный опыт в эпоху чрезмерного позитива / пер. с нем. А. Салина. М.: АСТ, 2023. 160 с.
7. Куземина, Е. Ф. Молчание как выразительность говорения // Теория и практика общественного развития. 2008. № 1.
8. Хайдеггер, М. Бытие и время / перевод В. В. Биbihина. М.: *Ad Marginem*, 1997. 461 с.
9. Емельянов, А. С. Совесть как зов бытия в философии М. Хайдеггера // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 7: Философия. Социология и социальные технологии. 2016. № 1 (31). С. 15–20.

Е. Е. Мокрякова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ЭКОСИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ ЧЕРЕЗ РЕАЛИЗАЦИЮ МОЛОДЕЖНЫХ ПРОЕКТОВ: ТЕОРЕТИКО- МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Статья посвящена исследованию экосистемной модели формирования профессиональных компетенций у выпускников вузов через реализацию молодежных проектов. В работе анализируются теоретико-методологические аспекты данной модели, включая определение ключевых понятий, таких как «профессиональные компетенции», «проектный подход» и «экосистема». Рассматривается структура модели, её особенности и значение для повышения качества образования. Также подчеркивается роль молодежных проектов в обеспечении практической подготовки студентов и их готовности к вызовам рынка труда.

Ключевые слова: профессиональные компетенции, проектный подход, экосистема, молодежные проекты.

В условиях реализации масштабных задач в области цифровой экономики образовательные организации стремятся укрепить связи между профессиональной и образовательной средой и обеспечить рынок труда специалистами с необходимыми для этого компетенциями [1].

Согласно исследованиям, «модель специалиста» включает два ключевых компонента: профессиональные знания и личностные качества [2]. В связи с этим, помимо передачи знаний, особое значение приобретают целевые ориентиры формирования личности выпускника университета, закреплённые в законодательных и нормативных актах в сферах образования и молодёжной политики. [2].

Так, в 2020 году в России был принят федеральный закон № 489-ФЗ «О молодёжной политике в Российской Федерации», который не только повысил возрастной порог молодёжи до 35 лет включительно, но и подчеркнул важность воспитания как одну из ключевых задач современного образования.

Согласно Указу Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», одна из национальных целей развития Российской Федерации – реализация потенциала каждого человека, развитие его талантов, воспитание патриотической и социально ответственной личности.

Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 29.12.2025) «Об образовании в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2026) определяет образование как единый целенаправленный процесс воспитания и обучения, являющийся общественно значимым благом и осуществляемый в интересах человека, семьи, общества и государства, а также совокупность приобретаемых знаний, умений, навыков, ценностных установок, опыта деятельности и компетенции определенных объема и сложности в целях интеллектуального, духовно-нравственного, творческого, физического и (или) профессионального развития человека, удовлетворения его образовательных потребностей и интересов.

Таким образом, воспитание – целевой приоритет национального развития. В этой связи традиционная модель университета трансформируется в экосистемную, основанную на принципах взаимозависимости обучения, развития и воспитания [3].

Термин «экосистема», заимствованный из биологии, обогатил представления о взаимодействии и сотрудничестве в социумах [3]. Экосистемы, построенные на принципах сложных живых структур, доказывают свою жизнеспособность на протяжении миллиардов лет и становятся особенно актуальными в условиях усложняющейся реальности XXI века [4].

Применительно к процессу воспитания молодёжи экосистемный подход учитывает принцип непрерывности развития личности и подчёркивает важность совместной работы вузов и работодателей. Такая экосистема выстраивает связи не только с отдельными компаниями, но и с широким кругом профессиональных сообществ [1].

Функции университетов в этой сфере выходят за рамки учебной деятельности и отвечают на растущий спектр интересов студентов [3]. Сегодня особую популярность приобретают общественно-значимые молодежные инициативы [5]. Однако, для их успешной реализации необходимо создать соответствующие условия.

Основываясь на ранее выделенных приоритетах и принципах государственной молодежной политики перспективным решением становится проектный подход [6] – подход, при котором обучающиеся получают знания и навыки в процессе создания

собственного проекта, направленного на решение какой-либо реальной проблемы. Этот метод раскрывает творческий потенциал и учит применять полученные теоретические знания на практике.

Одним из условий внедрения проектного подхода являются кампусы – совокупность креативных пространств в рамках университетской экосистемы. К ним относятся коворкинги, кванториумы, «точки кипения», бизнес-инкубаторы, технопарки, студенческие лаборатории открытого типа и др. Такие площадки представляют широкие возможности для разработки и воплощения новых идей. Это место, где можно работать над проектами, проводить мероприятия и презентации, осваивать новые навыки и общаться с единомышленниками.

Развитые функциональные кампусы позволяют молодёжи реализовывать инициативы в самых разных сферах – от науки и технологии до искусства, культуры, социальной деятельности и предпринимательства [5]. Ориентация на интересы студентов помогает найти баланс между учебной и внеучебной активностями, стимулируя свободу самовыражения, критическое мышление и готовность к командной работе.

Экосистема Омского государственного университета путей сообщения создаёт комплексную среду для реализации молодёжных инициатив – от идей до масштабирования успешных практик. Рассмотрим ключевые ресурсы вуза.

Первичная профсоюзная организация РОСПРОФЖЕЛ студентов ОмГУПС | проект «Перспектива»

Проект «Перспектива» – двухлетнюю программу развития молодёжной политики, которая состоит из 10 проектных решений, направленных на формирование у молодёжи универсальных компетенций, способствующих личностному, профессиональному и гражданскому развитию. Проект реализуется в рамках гранта Федерального агентства по делам молодежи (Росмолодёжь.Гранты)).

Проектные решения:

- образовательная программа «ПРОФ старт»;
- пространство «Код успеха»;
- экологический фестиваль «ЭкоСлед»;
- региональная школа «Медиалинии»;
- литературный конкурс «Голос Поколений»;
- фестиваль «Транспорт будущего»;
- марафон «Шагай уверенно!»;
- «Мастерская наставников»;

- учебно-деловая игра «Я-предприниматель»;
- спартакиада «Энергия Спорта».

Научная библиотека ОмГУПС | культурно-образовательное пространство «МЮСЛИ КАНТА», функционирует с 2018 года

Представляет собой коворкинг-зону, в которой проводятся лектории, презентации, выставки, экскурсии, мастер-классы, встречи с интересными людьми, беседы о культурных мероприятиях вуза и города и многое другое. Каждый студент может посещать встречи культурно-образовательного пространства, а также планировать, разрабатывать и организовывать собственные события.

Студенческий учебный центр ОмГУПС

Уникальное сообщество, объединяющее талантливую, творческую, яркую молодежь. В настоящее время занятия ведутся по 12 направлениям, в 5 творческих коллективах:

- театр танца «РАНДЕВУ»;
- студия эстрадного вокала «ЗВЕЗДНЫЙ ДОЖДЬ»;
- театр «ОБРАЗ»;
- вокально-инструментальный ансамблю «МАГИСТР»;
- фолк-студия «ЗАРНИЦА».

Студенческие клубы | OmGUPS.Stack, Кибербезопасность. СТФ, Кибердружина

OmGUPS.Stack – проект, объединяющий студентов, обучающихся на IT-направлениях или интересующихся информационными технологиями, нацеленный на применение полученных навыков в обучении на практике, для реализации новых современных интернет-сервисов для студентов и преподавателей университета.

Кибербезопасность. СТФ – клуб занимается изучением и практическим применением навыков в области информационной безопасности, основное направление деятельности – участие в соревнованиях в формате СТФ (Capture The Flag) и олимпиадах по информационной безопасности.

Кибердружина – выявление в сети Интернет запрещенного и противоправного контента, пропагандирующего девиантное, деструктивное и суицидальное поведение, предотвращение вербовки людей, групповых противоправных акций, актов диверсий на объектах железнодорожного транспорта, призывов к экстремистской, террористической деятельности и (или) её оправданию.

Таким образом, экосистемный подход, основанный на взаимовыгодном взаимодействии всех участников экосистемы, является инновационным предложением для отечественного образования. Он ориентирован на обучение в

практическом контексте с использованием экспериментов, исследований и конструированием знаний, что становится возможным благодаря проектному подходу [4].

Кампус – является важным фактором развития молодежных проектов, способствуя формированию социально-творческой среды, предоставлению доступа к ресурсам и поддержке для реализации идей и проектов молодёжи.

В формировании экосистем университетов в настоящее время нет устоявшихся концепций и моделей, апробированных в длительной практике, неясны среднесрочные и долгосрочные прогнозы функционирования [3]. Эффективность реализации конкретных молодежных социальных проектов в вузах является предметом дальнейшего изучения и анализа.

Список литературы

1. Храмковка, Е. В. Применение экосистемного подхода в образовании / Е. В. Храмкова. – Текст : непосредственный // Теория и практика общественного развития. – 2024. – № 4. – С. 151 – 157.

2. Тарабаева, В. Б. Ключевые компетенции как основа модели личности выпускника вуза / В. Б. Тарабаева. – Текст : непосредственный // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8. – С. 51 – 54.

3. Кирьякова, А. В. Развитие молодёжных сообществ в экосистеме университета: ресурсы, проекты и риски / А. В. Кирьякова, Н. А. Каргапольцева, И. Д. Белоновская, С. А. Дужников. – Текст : непосредственный // Высшее образование в России. – 2022. – Т. 31. – № 8-9. – С. 116 – 136.

4. Богоудинова, Р. З. Экосистемный подход в системе трансформации профессионального образования / Р. З. Богоудинова, Е. Е. Царева. – Текст : непосредственный // Казанский педагогический журнал. – 2022. – № 6. – С. 50 – 57.

5. Нежигай, Э. Н. Креативное пространство как ресурс для реализации молодежных проектов / Э. Н. Нежигай, Ю. П. Коровин. – Текст : непосредственный // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». – 2024. – Т. 1. – № 5 (74). – С. 750 – 758.

6. Нивчик, А. В. Молодежные социальные проекты и программы в России и за рубежом / А. В. Нивчик. – Текст : непосредственный // XXI Международная конференция памяти профессора Л. Н. Когана «Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования», 22-23 марта 2018 г., Екатеринбург. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 546-556.

О. Н. Коновалова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ВНЕДРЕНИЕ ESG-ПРИНЦИПОВ В ВУЗАХ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В материалах статьи рассмотрены причины появления в мировой экономике понятия ESG. Раскрывается его сущность и указываются преимущества, которые получает компания, внедрившая эти принципы. Обосновывается важность внедрения в работу вузов ESG принципов.

Ключевые слова: ESG- принципы, образование, экономическая безопасность.

Аббревиатура ESG возникла в начале XXI века. В 2006 году Организация Объединенных Наций опубликовала Принципы ответственного инвестирования. Социально ответственные инвестиции известны сегодня как ESG, но уже в 20 веке они определялись как развитие, обеспечивающее удовлетворение социальных потребностей общества того времени. А в 2015 году ООН приняла набор из 17 Целей устойчивого развития, объединивших социальные, экологические и экономические характеристики для гармоничного развития мира.

В последние годы в научной литературе появилось достаточно много работ, посвященных вопросам ESG-концепции, в частности, работы Gregory R.P. [1], Plastun A., Bouri E., Gupta R., Ji Q. [2], Vilas P., Andreu L., Sarto J.L. [3]. По исследованиям Бабаевой Ж.Р., Семенова К.К., Семеновой А.С. интерес к понятию ESG наблюдается после 2015 г. когда Генеральная ассамблея ООН приняла 17 целей в области устойчивого развития [4].

Аббревиатура ESG – это environmental, social, governance, то есть «природа, общество, управление». Следование принципам ESG даёт компаниям социальные и конкурентные преимущества в виде государственных субсидий и льгот, снижение налогов за счёт благотворительности, специальные условия кредитования, лояльность клиентов, привлекательность для сотрудников.

В настоящее время рейтинг ESG формируют многие независимые агентства, проводя оценку компаний. Количество критериев может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен. Интерес к ESG-повестке возрастает у

многих организаций, несмотря на неблагоприятные макроэкономические факторы и иные причины.

К концу 2025 года в мире было 500 ESG-рейтингов, 100 наград и 120 собственных открытых стандартов ESG отдельных компаний. Одними из самых авторитетных в мире считаются рейтинги RobecoSAM, Sustainalytics, MSCI, CDP, ISS, Vigeo Eiris, FTSE Russell и FTSE4Good [5].

Одной из ключевых оценок ESG в России считают рейтинг Национального рейтингового агентства. Методология присвоения ESG-рейтингов разработана этим агентством в соответствии с нормами действующего законодательства РФ, рекомендациями Банка России по разработке методологии и присвоению ESG-рейтингов (рейтингов устойчивого развития) и внутренней методикой [6]. Присваиваемый ESG-рейтинг действителен в течение одного года и подлежит обязательному пересмотру не реже, чем один раз в 12 месяцев [6].

Рейтинговое агентство RAEX разработало методику для вузов и на ее основе в 2025 году присвоило первые индивидуальные рейтинги ответственности университетов в сфере устойчивого развития [7].

Центробанк России в начале 2023 года предложил создать общую методологию ESG-рейтингов. С 2027 года (с отчетности за 2026 год) Банк России планирует обязать публичные акционерные общества, чьи акции включены в котировальные списки первого и второго уровней, раскрывать расширенный перечень нефинансовых показателей устойчивого развития. Новые требования заложены в проект обновленного положения о раскрытии информации эмитентами. Согласно документу, размещенному на сайте Банк России, эмитенты будут обязаны включать в годовой отчет за 12 месяцев около 30 базовых ESG-показателей. В перечень входят данные о выбросах парниковых газов и загрязняющих веществ, потреблении воды, сбросах сточных вод и объеме отходов, расходах на экологические мероприятия, энергопотреблении, уровне производственного травматизма, доле женщин среди работников, а также сумме уплаченных налогов. Перечень показателей устойчивого развития сформирован на основе индикаторов, разработанных Минэкономразвития РФ в рамках стандарта общественного капитала бизнеса. Ожидается, что этот стандарт будет опубликован в ближайшее время. Проект положения также предусматривает раскрытие нефинансовых данных в электронном виде в машиночитаемом формате XBRL. Передача информации, включая ESG-показатели, будет осуществляться через аккредитованные информационные агентства, аналогично другим обязательным раскрытиям эмитентов [8].

В нашей стране наблюдается адаптация универсальных целей под национальные цели устойчивого развития, которые закрепились в документах стратегического планирования. Содержательные аспекты научно-технических мероприятий по тематике устойчивого развития наглядно показывают, что это не дань моде, а серьёзный интерес к тематике ESG. Цели Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом до 2035 года также согласуются с этим подходом. Это повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий, рост мобильности населения и развитие внутреннего туризма, увеличение объема и скорости грузоперевозок с применением мультимодальных логистических технологий, цифровая и низкоуглеродная трансформация отрасли, ускоренное внедрение новых технологий.

Однако в образовательных организациях опыт использования ESG-концепции значительно ниже, чем в бизнесе. В ESG-рейтинге высших учебных заведений, составленном рейтинговой группой RAEX рейтинги ответственности в сфере устойчивого развития присвоены 7 университетам [7]. Реформа системы высшего образования содержит этот тренд, ускоряя его внедрение.

Несмотря на то, что образовательные учреждения это организации, не считающие своей главной целью извлечение прибыли, внедрение ESG принципов является фактором повышения экономической безопасности. Во-первых, это ускоряет процесс перехода экономики и общества на устойчивое развитие за счет формирования экологического мировоззрения у студентов, компании все чаще ищут выпускников с пониманием ESG. Во-вторых, поколение Z и миллениалы сознательно выбирают вузы, разделяющие их ценности. В-третьих, рейтинги устойчивости делают вузы привлекательными для иностранных студентов. В-четвертых, это появление возможности получить гранты на проекты. В-пятых, это возможность попадания в международные рейтинги.

Следует отметить, что в связи с «поворотом на Восток» многие вузы активно выступают на международной арене как экспортеры образовательных услуг в странах Китая. В то же время, приверженность китайских организаций ESG-принципам формирует определенные риски для российских вузов.

В совокупности ESG-повестка определяет конкурентоспособность вуза среди стейкхолдеров, помогает усилить положение образовательных организаций в интернациональной среде, повлиять на жизненный цикл в перспективе. Внедрение в работу вузов ESG принципов повысит их экономическую безопасность, а также будет стимулировать внедрение этих принципов на общегосударственном уровне.

Список литературы

1. Gregory R.P. ESG scores and the response of the S&P 1500 to monetary and fiscal policy during the COVID-19 pandemic // *International Review of Economics & Finance*. 2022. Vol.78. Pp. 446- 456.
2. Plastun A., Bouri E., Gupta R., Ji Q. Price effects after one-day abnormal returns in developed and emerging markets: ESG versus traditional indices // *North American Journal of Economics & Finance*. 2022. Vol.59. Pp. 101572.
3. Vilas P., Andreu L., Sarto J.L. Cluster analysis to validate the sustainability label of stock indices: an analysis of the inclusion and exclusion processes in terms of size and ESG ratings // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol.330. Pp. 129862.
4. Бабаева Ж. Р. Трактовка ESG: систематический обзор литературы / Ж. Р. Бабаева, К. К. Семенов, А. С. Семенова // *Российский журнал менеджмента*. 2024. № 22 (2). С. 253 - 288.
5. Полякова Т. Что такое ESG и почему это полезно для бизнеса / Т. Полякова // *Т-бизнес секреты*. URL: https://secrets.tbank.ru/razvitie/strategiya-esg/?ysclid=mivtczx3un940255350&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 10.01.2026)/
6. Методология присвоения ESG-рейтингов (некредитных рейтингов, оценивающих подверженность организаций экологическим и социальным рискам бизнеса, а также рискам корпоративного управления) (версия 5.1). Утверждена Приказом Генерального директора Общества с ограниченной ответственностью «Национальное Рейтинговое Агентство» от 06 июня 2025 г. № ПР/06-06/25-1 Вступает в силу 06.06.2025 г. // URL: <https://www.ra-national.ru/wp-content/uploads/2025/06/metodologija-prisvoenija-esg-rejtingov-versija-5.1.pdf>. (дата обращения: 14.01.2026).
7. Университеты и устойчивое развитие: рейтинги, практики, новые тренды / Сайт рейтинговой группы RAEX // URL: https://raex-rr.com/ESG/ESG_universities/ESG_universities/2025/analytics/ESG-ratings_universities/ (дата обращения: 14.02.2026).
8. ЦБ введет обязательное раскрытие ESG-показателей для крупных эмитентов // *Коммерсантъ. Ответственный бизнес*. 23.12.2025 URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8314893?ysclid=mkje7dllp8132025225> (дата обращения: 10.01.2026).

**А. А. Визминтинов, Н. П. Грачева, Т. В. Стрельцова,
С. Л. Сухих, А. В. Шастин**

Общество с ограниченной ответственностью «Трамплин Венчурс»,
Российская Федерация, г. Омск

СПОСОБЫ ПРИВЛЕЧЕНИЯ УЧЕНЫМ ВЕНЧУРНОГО КАПИТАЛА

В статье рассматриваются вопросы эффективного взаимодействия представителей научного сообщества с венчурными инвесторами на основе материалов форума, организованного фондом «Трамплин». Анализируются четыре ключевых блока оценки инвестиционных проектов: рыночный запрос, технологическое преимущество, экономическая модель и кадровый потенциал. Особое внимание уделяется практическим аспектам подготовки к переговорам с инвесторами, включая структуру питча, систему доказательств и финансовое планирование. Статья представляет интерес для молодых исследователей, стремящихся коммерциализировать свои разработки, а также для специалистов в области инновационного менеджмента.

Ключевые слова: венчурное инвестирование, коммерциализация научных разработок, трансфер технологий, инновационная экосистема, юнит-экономика.

В современной экономике знаний ключевым фактором конкурентоспособности становится скорость трансформации научных открытий в рыночные продукты. Однако процесс коммерциализации исследовательских результатов сопряжен с рядом существенных барьеров, важнейшим из которых является коммуникационный разрыв между научным сообществом и представителями инвестиционного капитала. Ученые и инвесторы говорят на разных языках: первые оперируют категориями гипотез, экспериментальных данных и публикационной активности, вторые — показателями рыночного потенциала, маржинальности и сроков окупаемости. Преодоление этого разрыва требует целенаправленной работы по формированию у исследователей компетенций в области проектного менеджмента и инвестиционного анализа.

На основе анализа практики фонда и изучения мнения экспертов может быть реконструирована система критериев, применяемых венчурными инвесторами при оценке научных проектов. Система включает четыре основных блока, каждый из которых требует проработки на предынвестиционной стадии.

1. Рыночный запрос и конкурентная среда. Первый и наиболее значимый блок оценки связан с подтверждением существования реального рыночного спроса на предлагаемую разработку. Инвестору необходимы количественные данные, демонстрирующие, что проблема, решаемая проектом, имеет массовый характер и что потенциальные потребители уже несут издержки, которые могут быть снижены с помощью предлагаемого решения.

Ключевым инструментом здесь выступает анализ рыночной емкости в парадигме TAM/SAM/SOM (Total Addressable Market, Serviceable Available Market, Serviceable Obtainable Market). При этом важно не просто привести цифры из отраслевых отчетов, но показать динамику рынка и основные тренды, определяющие его развитие [1].

Не менее значимым является анализ конкурентной среды. Инвестор ожидает увидеть не декларацию отсутствия конкурентов (что обычно воспринимается как непонимание рынка), а четкое позиционирование относительно существующих игроков с выделением конкурентных преимуществ и оценкой рисков копирования технологии.

2. Технологическое преимущество и интеллектуальная собственность. Для научных проектов технологическая составляющая является естественной сильной стороной. Однако инвестору важно не только понимание принципов работы технологии, но и оценка ее защищенности от копирования. Патенты, лицензии, авторские свидетельства рассматриваются не как бюрократические формальности, но как активы, повышающие капитализацию компании.

Критически значимым является определение уровня технологической готовности (Technology Readiness Level, TRL) по общепринятой шкале от 1 до 9. Инвестиционная стратегия существенно различается для проектов на стадии лабораторного прототипа (TRL 3-4) и для разработок, готовых к серийному производству (TRL 8-9). От этого зависят объем требуемых инвестиций, сроки выхода на рынок и распределение рисков [2].

3. Экономическая модель и масштабирование. Наибольшие сложности у исследователей вызывает проработка экономической составляющей проекта. Инвестора интересует не столько объем требуемого финансирования, сколько логика формирования прибыли и зависимость ключевых экономических показателей от масштаба деятельности.

Ключевыми элементами финансовой модели выступают [3]:

- себестоимость единицы продукта и ее динамика при масштабировании;
- целевая маржинальность и факторы, на нее влияющие;
- модель монетизации (продажа оборудования, подписка, лицензионные платежи);
- стоимость привлечения клиента (CAC) и пожизненная ценность клиента (LTV);
- точка безубыточности и срок достижения самоокупаемости.

Особое значение придается анализу того, как изменение масштабов деятельности влияет на экономические показатели — какие издержки снижаются, какие остаются постоянными, а какие возрастают непропорционально.

4. Команда и организационный потенциал. Инвестиционная привлекательность проекта в значительной степени определяется составом команды и распределением компетенций. При этом сильная научная экспертиза рассматривается как необходимое, но недостаточное условие. Инвестору важно видеть наличие в команде или в планах по ее развитию специалистов с бизнес-компетенциями — опытом коммерциализации, продаж, взаимодействия с регуляторами [4].

Практическим инструментом является составление плана найма на ближайшие 6-12 месяцев с указанием позиций, требуемых компетенций и ключевых показателей эффективности для новых сотрудников. Это демонстрирует инвестору реалистичную оценку текущих ограничений и понимание путей их преодоления.

В качестве примеров, приведем проекты, профинансированные фондом «Трамплин». Первый проект — создание автономных робототехнических комплексов для выполнения коммунальных работ — демонстрирует ориентацию на конкретный и измеримый рыночный запрос. Разработчики не позиционируют свой продукт как «робота будущего» с широким спектром потенциальных применений, но предлагают специализированное решение для уборки территорий, вывоза отходов и патрулирования. Такая конкретизация позволяет четко определить целевую аудиторию, рассчитать экономический эффект для заказчика и выстроить каналы продвижения.

Второй проект относится к сфере медицинского приборостроения и представляет собой наборы для фиксации и ориентировки биопсийного материала. Ключевым преимуществом разработки является решение конкретной проблемы патологов и онкологов — сохранение целостности диагностических образцов при транспортировке. Узкая специализация продукта в данном случае выступает не ограничением, а конкурентным преимуществом, поскольку позволяет сфокусироваться на потребностях четко очерченной группы профессионалов с высокими требованиями к качеству.

Третий проект — разработка систем анализа видеоархивов для обеспечения порядка и повышения эффективности в различных сферах деятельности — иллюстрирует важность конкретизации прикладных сценариев. За общей формулировкой скрываются два четких рыночных сегмента: ритейл (анализ поведения покупателей) и городские службы (распознавание инцидентов в реальном времени). Такая детализация позволяет выстраивать дифференцированную маркетинговую стратегию и адаптировать продуктовые характеристики под требования каждого сегмента.

Общим для всех трех проектов является наличие четкого понимания целевой аудитории и решаемой проблемы, что соответствует базовым требованиям инвестиционного анализа к формулировке ценностного предложения.

Обобщение представленных проектов позволяет сформулировать методологический подход к подготовке первой встречи с потенциальным инвестором, включающий три ключевых компонента.

1. Структура краткой презентации (питча). Первая встреча с инвестором обычно ограничена по времени, что требует особого формата представления информации. Оптимальная структура трехминутного питча включает последовательное раскрытие следующих элементов [5]:

- идентификация решаемой проблемы и ее масштаба;
- описание предлагаемого решения и его уникальных характеристик;
- оценка рыночного потенциала;
- указание текущей стадии готовности;
- формулировка инвестиционного запроса и предполагаемого использования средств.

Принципиальным требованием является эмоциональная вовлекаемость повествования, способная вызвать у инвестора желание задать уточняющие вопросы и продолжить диалог.

2. Система доказательств. После завершения питча наступает фаза верификации заявленных утверждений, для которой необходимо подготовить пакет подтверждающих материалов. В него включаются [5]:

- прототип продукта (демонстрирующий материальность разработки);
- результаты пилотных испытаний с участием потенциальных заказчиков;
- письма о намерениях (LOI) от потенциальных клиентов;
- метрики ранних продаж (при их наличии);
- документы, подтверждающие защиту интеллектуальной собственности.

Качественная подготовка доказательной базы существенно повышает доверие к проекту и сокращает время на проведение первичной экспертизы.

3. Финансовое планирование и целеполагание. Заключительный блок подготовки включает разработку финансовой модели и формулировку дорожной карты развития. Инвестор должен увидеть [3]:

- прогнозные финансовые показатели на горизонте 3-5 лет;
- оценку потребности в последующих раундах финансирования;
- ключевые вехи, которые будут достигнуты за счет запрашиваемых средств;
- детализированный план использования инвестиций.

Важно подчеркнуть, что инвестор рассматривает свое участие не как финансирование исследований, а как приобретение права на участие в будущем росте компании. Соответственно, задача исследовательской команды — убедительно продемонстрировать, что такой рост является неизбежным следствием правильно выбранной стратегии и эффективного использования ресурсов.

В заключении можно сделать ряд выводов, значимых для молодых исследователей, ориентированных на коммерциализацию своих разработок.

Во-первых, успешное взаимодействие с инвестором требует смены когнитивной парадигмы: от восприятия инвестора как источника

финансирования к пониманию его как партнера по развитию бизнеса, заинтересованного в росте капитализации компании.

Во-вторых, необходимым условием является освоение исследователями базовых понятий и методов инвестиционного анализа, включая расчет емкости рынка, оценку конкурентной среды, построение финансовых моделей и обоснование стратегий масштабирования.

В-третьих, критически важным является формирование у исследовательских коллективов способности к структурированной презентации своих разработок, включая подготовку краткого питча, системы доказательств и финансового обоснования.

Наконец, принципиальное значение имеет понимание того, что научная новизна и технологическое совершенство разработки являются необходимыми, но недостаточными условиями инвестиционной привлекательности. Решающим фактором выступает способность исследовательской команды продемонстрировать наличие рыночного запроса, экономическую целесообразность и потенциал масштабирования предлагаемого решения.

Таким образом, формат целенаправленной подготовки исследователей к взаимодействию с венчурными инвесторами, реализованный фондом «Трамплин», представляется высокоэффективным инструментом развития инновационной экосистемы, способствующим сокращению коммуникационного разрыва между научным и инвестиционным сообществами.

Список литературы

1. Шведова, И.А. Маркетинговые исследования: объем рынка, расчет и обоснование. М.: Питер, 2025. – 192 С.
2. Анохов, И.В. Шкала уровня технологической готовности TRL и перспективы ее модификации // Стратегии бизнеса. 2022. №11.
3. Моделирование в банковском деле и финансах / Под науч. ред. Карминского А.М. М.: Высшая школа экономики (ВШЭ), 2025. – 248 С.
4. Доброштан, О.В. Руководитель в IT-индустрии. Как управлять собой, командой и проектами. М.: Бомбора, 2025. – 448 С.
5. Михайлов, А.И. Убойный питч. Как сделать презентацию точно в цель. Практическое пособие с пошаговой инструкцией. М.: 1000 бестселлеров, Омега-Л, 2020. – 160 С.

Н. Б. Куршакова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ УЧЕБНОГО ИЗДАНИЯ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Изучение теоретических и практических основ управленческой деятельности сервисных компаний является составной частью образовательного процесса по специализации «Сервис на транспорте». Для формирования у будущих специалистов требуемых компетенций в статье раскрывается методический подход к подготовке учебного издания по дисциплине «Управленческая деятельность», отмечаются вопросы, изучение которых формируют универсальные компетенции. Обосновывается значимость учебного материала для будущей профессиональной деятельности. Показывается связь результатов обучения с выполнением трудовых функций.

Обеспеченность учебными изданиями, включая учебно-методические разработки, является одним из условий реализации образовательной программы по специализации «Сервис на транспорте», входящей в укрупненную группу специальностей 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», которую с 2025 года осуществляет кафедра «Экономика транспорта, логистика и управление качеством» ОмГУПС.

Под транспортным сервисом понимается комплекс услуг по обслуживанию пассажиров, грузоотправителей и грузополучателей, владельцев подвижного состава, включая обеспечение перевозок, выполнение сопутствующих и дополнительных работ. Поскольку подготовка специалистов транспортно-сервисных компаний должна учитывать специфику профессиональной деятельности, то возникает потребность в написании учебно-методических пособий по читаемым дисциплинам применительно к будущей работе выпускников, причем их построение должно отражать компетенции, требуемые для решения производственно-технологических и организационно-управленческих задач.

Следует отметить, что сервис на транспорте представляет собой высококонкурентную, клиентоориентированную отрасль, где успех определяется не только технологиями, но и качеством управления транспортными бизнес-процессами, персоналом. Поэтому, наряду с техническими дисциплинами, студенты изучают и социально-экономические.

В данной статье представлена последовательность изложения учебного материала в учебно-методическом пособии «Управленческая деятельность сервисных компаний в сфере транспорта» (далее – УМП), подготовленного для освоения дисциплины «Управленческая деятельность». Дисциплина представляет собой «систематизированное изложение знаний о современном состоянии теории и методологии управления как процессе эффективного управления организацией в условиях рыночной экономики» [1]. Ее ценность для будущих специалистов по сервису в том, что в процессе обучения студенты овладевают универсальным набором компетенций, который позволит им эффективно решать профессиональные задачи и выполнять комплекс операций по обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей, владельцев подвижного состава, обеспечивать бесперебойный и качественный сервис, стать полноправным членом команды, проявлять лидерские качества, брать на себя ответственность за порученное дело, стремиться к личностному и карьерному росту.

Согласно образовательной программе «Сервис на транспорте» и учебному плану у студентов в результате изучения дисциплины должны сформироваться универсальные компетенции, направленные на системное и критическое мышление, а также командную работу и лидерство. Компетенция УК–1 заключается в способности осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий; УК–3 – в способности организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели. Указанные требования учтены при составлении УМП. В нем изложены теоретические, методические и практические основы управления сервисными компаниями в сфере транспорта.

Поскольку дисциплина изучается в течение двух семестров, то материал в УМП разделен на две части. Первая часть «Теоретические и методические аспекты управленческой деятельности сервисных компаний в сфере транспорта»

включает три раздела и посвящена теоретическим и методическим основам менеджмента и управленческой деятельности, которые обеспечивают достижение стратегических целей и устойчивое развитие предприятий в современных экономических условиях.

В первом разделе объясняется: как происходило зарождение и развитие управленческой мысли, что явилось предпосылками к формированию взглядов и идей, ставших впоследствии основой менеджмента как науки и практики управления. Показывается, как развивалась теория управления и управленческая деятельность в России, отмечаются специфические черты управления предприятиями в современных условиях, выделяются основные направления эффективного управления. Раскрывается сущность управленческой деятельности, рассматриваются современные концепции управления предприятиями. Подробно изучается концепция управления человеческими ресурсами, важность которой обуславливается индикатором достижения компетенции УК–3.1.

Освоение теоретического материала данного раздела формирует у студентов системное мышление. Понимание того, как происходила эволюция управленческой мысли, помогает им осознавать, почему сегодня в сервисе доминирует концепция клиентоориентированности, и связанные с ней маркетинговые концепции, в основе которых удовлетворенность потребителей качеством сервисных услуг, обслуживания. Благодаря изучению учебного материала студенты учатся не просто видеть потребителя сервисных услуг в лице пассажира, грузоотправителя, грузополучателя, владельца транспорта, а объект целенаправленного воздействия, ценность которого и формирует устойчивость бизнеса сервисной компании в транспортной сфере. Еще один момент – это изучение российской специфики управления предприятиями. Этот вопрос, безусловно, важен особенно при экономических санкциях, поскольку выпускник должен разбираться в том, как необходимо работать в условиях трансформации транспортно-логистических систем, импортозамещения в сфере услуг, новых требований потребителей, что является практическим инструментом выживания и развития компании.

Во втором разделе рассматривается система управления предприятием, содержание ее элементов, выделяются объекты и субъекты управления, подробно изучается сервисное предприятие как объект и основа управления,

дается характеристика субъектам управления в лице руководителей разного уровня транспортно-сервисных компаний, от компетенций и компетентности которых зависят результаты управленческой и хозяйственной деятельности. На примерах из практики объясняются классические и современные принципы управления. Раскрываются методы управления, включая социально-психологические, используемые при построении и реализации эффективной системы управления персоналом. Изучение этих вопросов вызвано требованием к формированию компетенции УК–3 через индикатор УК– 3.2.

Важно отметить, что изучение материала позволяет студентам понять, что из себя представляют компании, оказывающие транспортно-сервисные услуги, в каких условиях они функционируют, как результаты их работы связаны с внешним окружением, из каких составляющих формируется система управления и как она функционирует. В результате обучающийся может разобраться в том, как его будущая роль как специалиста операторской или экспедиторской организации, вокзального комплекса, сервисного логистического центра, сервисной вагоноремонтной компании и т. п. впишется в общую систему управления того предприятия, в котором он будет трудиться. Более того, знания социально-психологических методов управления помогут правильно выстроить взаимодействие в трудовом коллективе, а эффективные коммуникации – предотвратить конфликты, что напрямую сказывается на качестве сервиса, которое видят и ощущают клиенты при обслуживании, в первую очередь, конечно же пассажиры, пользующиеся услугами вокзальных комплексов, аэропортов, а также в пути следования.

Третий раздел посвящен командообразованию как основе успешной работы сервисных компаний в сфере транспорта. Для формирования компетенции УК–3 в нем раскрываются вопросы создания и управления командой, руководства командной работой, нормы и правила взаимодействия, построения деловых отношений, способствующих достижению целей командной работы, рассматриваются принципы и методы командообразования (индикатор УК–3.3), отмечаются факторы, влияющие на работу в команде, выделяется роль руководителя для эффективной работы, объясняются стили его руководства в той или иной ситуации, а также их последствия для команды.

Включение в учебный материал этих важнейших вопросов вызвано тем, что сервис на транспорте — это всегда работа в команде. От слаженных действий

сотрудников разных подразделений компании зависит скорость и безопасность обслуживания, качество оказываемых услуг. Формирование компетенции (работа в команде) напрямую связана с этим разделом. Студенты научатся не просто быть членом команды, но и понимать принципы ее построения, нормы взаимодействия и основы руководства ею, что, конечно же, будет востребовано в дальнейшем, во-первых, для того, чтобы определить свою роль в команде, а, во-вторых, выстроить траекторию профессионального и карьерного роста.

Вторая часть УМП «Модель управленческого цикла сервисных компаний в сфере транспорта, его базовые и связующие функции» состоит из тем, объединенных единым смыслом, формирующих у студентов системное и критическое мышление. Опираясь на теоретическую модель управленческого цикла, представляющую взаимосвязанные этапы цикла управления предприятием, в УМП последовательно с использованием практических примеров раскрываются основные функции управления, показывается их роль в управленческом цикле транспортно-сервисной компании. Что является базой для применения полученных знаний будущими специалистами, поскольку каждую функцию можно спроектировать на оперативную деятельность и повседневные задачи специалистов компаний, предоставляющих сервисные услуги, например как спланировать работу смены на вокзале в час-пик, как распределить ресурсы для обслуживания клиентов при ремонте подвижного состава, как организовать взаимодействие между различными службами для удобства пассажиров, как мотивировать сотрудников на доброжелательное обслуживание клиентов, какие механизмы использовать для контроля соблюдения стандартов сервиса, как наладить внутриорганизационные коммуникации, чтобы обеспечить бесперебойную работу по обслуживанию потребителей транспортно-сервисных услуг. В модели управленческого цикла для формирования у студентов компетенций УК–1 сделан особый акцент на связующую функцию управления – разработку и принятие управленческих решений. Показана ее роль для разрешения проблемной ситуации, решения задачи, рассмотрен порядок проведения анализа проблемной ситуации, различных вариантов ее решения (индикатор УК–1.1), изложен процесс разработки управленческого решения (алгоритма), оценки последствий возможных вариантов решений (УК – 1.2), выработки стратегии действий для построения алгоритма решения задач (УК –1.3). Стоит отметить, что для

специалистов сервиса принятие решений должно стать важным навыком: от простых, например, как решить проблему с отставшим пассажиром, до сложных, например, как действовать при задержке заказа на ремонт вагонов. Изучаемый алгоритм разработки решения дает четкий план действий, применимый на практике в случае возникновения проблемной ситуации.

Завершается вторая часть материалом об эффективности управленческой деятельности. Раскрываются оценочные критерии и показатели эффективности управления сервисной компании в сфере транспорта, указываются факторы, оказывающие влияние на эффективность управления, объясняется сущность и процесс оценки эффективности управления. Данная тема учит будущего специалиста мыслить категориями результата, результативности и эффективности, развивает и системное и критическое мышление. Благодаря этому он будет понимать, как его личная работа и работа подразделения, в котором он трудится, влияет на ключевые показатели эффективности всей компании.

Кроме лекционного материала учебно-методическое пособие содержит сведения о составе и объеме дисциплине, формах контроля знаний и планируемых результатах обучения, задания к занятиям семинарского типа, полный комплект фонда оценочных средств (вопросы и задания для контрольных работ, тесты, экзаменационные вопросы), перечень рекомендуемой литературы и электронных библиотечных ресурсов. В нем изложены указания к составлению конспекта лекций, выполнению учебно-исследовательской и самостоятельной работы, выделены критерии оценивания результатов, приведена методика рейтинговой оценки знаний студентов.

Все это в итоге поможет обучающимся достигнуть требуемых результатов в виде сформированных универсальных компетенций, а в дальнейшем положительно скажется на выполнении трудовых функций. Во-первых, предоставит им эффективные инструменты для решения реальных проблем, встречающихся при межличностном и межфункциональном взаимодействии в коллективе: от работы в команде до урегулирования конфликтных ситуаций. Во-вторых, позволит молодому специалисту быстро адаптироваться в трудовом коллективе, установить деловые отношения с коллегами и непосредственным руководителем, четко организовать свою работу, нести ответственность за порученное дело, добиваться нужных результатов, а в итоге стать одним из

членов команды. В-третьих, формирует теоретическую основу для карьерного роста, т. к. понимание управленческого цикла, его этапов, функций управления – это багаж, владея которым и дополняя в первые годы деятельности специалист может претендовать на руководящие позиции низового уровня управления. И последнее, что хотелось бы отметить, знание теоретических и практических основ управленческой деятельности повышает ценность выпускника по специальности «Сервис на транспорте» на рынке труда, ведь обладая компетенциями в области управления даже на уровне отдела, он уже способен управлять отдельным процессом и отвечать за его результат, что сегодня, безусловно, высоко ценится в реальной деятельности. Современный специалист в транспортном сервисе – это профессионал, от которого зависит качество услуг и обслуживания, лояльность потребителей, эффективность службы сервиса и компании в целом.

Таким образом, освоение студентами учебного материала по дисциплине «Управленческая деятельность» в той последовательности, которая использовалась при подготовке УМП, текущая и промежуточная оценка достигнутых компетенций способствует формированию будущего специалиста транспортно-сервисной компании, понимающего логику всей ее работы. В связи с чем у выпускника расширяется круг потенциальных работодателей, появляется возможность найти интересную работу в сервисных логистических центрах, службах сервиса транспортных и экспедиционных компаний.

Список литературы

1. Грибов, В. Д. Управленческая деятельность : учебник и практикум для вузов / В. Д. Грибов, Г. В. Кисляков. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 315 с. – Текст : непосредственный.

А. С. Бобчинец

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),

г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ

В статье выполнен анализ методов и средств повышения энергетической эффективности рекуперативного торможения на электрическом железнодорожном транспорте. Рассмотрены основные факторы, ограничивающие использование энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения. Проанализированы современные технические и организационные решения, направленные на повышение эффективности использования энергии рекуперативного торможения.

Ключевые слова: рекуперативное торможение, энергоэффективность, тяговое электроснабжение, накопители энергии, железнодорожный транспорт.

Повышение энергетической эффективности электрифицированного железнодорожного транспорта в современных условиях рассматривается как одно из приоритетных направлений развития отрасли. Существенный резерв энергосбережения связан с рациональным использованием энергии рекуперативного торможения, представляющего собой процесс преобразования кинетической энергии поезда в электрическую при переводе тяговых электродвигателей в генераторный режим. Теоретически объём возвращаемой энергии определяется выражением:

$$W = \frac{mv^2}{2} \quad (1),$$

где m – масса поезда, кг;

v – скорость движения, м/с.

Однако фактический коэффициент её использования существенно ниже потенциально возможного и определяется совокупностью режимных, инфраструктурных и организационных факторов [1]. Следует отметить, что

приведённое выражение отражает лишь потенциальный максимум кинетической энергии поезда. В реальных условиях величина возвращаемой энергии дополнительно ограничивается коэффициентом полезного действия тяговых электродвигателей в генераторном режиме, потерями в преобразовательном оборудовании и сопротивлением контактной сети. Кроме того, часть энергии расходуется на собственные нужды подвижного состава, включая системы управления и вспомогательные агрегаты.

Дополнительным фактором, влияющим на эффективность использования энергии рекуперативного торможения, является электрическое сопротивление элементов тяговой сети и характер распределения нагрузок в пределах межподстанционной зоны. При значительной протяжённости участка возрастают потери мощности в контактной сети и питающих линиях, что снижает фактический объём энергии, достигающий потенциального потребителя. Существенную роль также играет динамика изменения тяговых и тормозных режимов подвижного состава, при которой кратковременные пики генерации энергии могут не совпадать по времени с потребностью других поездов в тяге. В таких условиях эффективность рекуперации во многом определяется скоростью реагирования системы электроснабжения и наличием технических средств, способных аккумулировать или перераспределять избыточную энергию.

На полигонах постоянного тока 3 кВ, широко применяемых на сети железных дорог Российской Федерации, эффективность использования энергии рекуперации во многом зависит от наличия потребителя в пределах межподстанционной зоны. При отсутствии поезда, находящегося в тяговом режиме, происходит рост напряжения в контактной сети выше допустимых значений, что приводит к отключению рекуперации и переходу на реостатное торможение. Согласно исследованиям, доля фактически реализуемой энергии рекуперации может составлять 40–50 % от потенциально возможной, а при неблагоприятных условиях – ещё ниже [1]. Существенное влияние оказывает также неравномерность графика движения, различие масс поездов, особенности профиля пути и сопротивление контактной сети, приводящее к дополнительным потерям электроэнергии. При этом величина фактически используемой энергии существенно варьируется в зависимости от плотности движения и схемы

питания участка. На участках с интенсивным пригородным движением эффективность рекуперации, как правило, выше за счёт вероятности одновременного нахождения в межподстанционной зоне поездов в режимах тяги и торможения. На малодеятельных участках значительная часть энергии вынужденно рассеивается в тормозных резисторах.

В этой связи повышение эффективности использования энергии рекуперации требует комплексного подхода, включающего как организационные, так и технические мероприятия. К организационным мерам относится синхронизация процессов разгона и торможения поездов, корректировка графиков движения и внедрение цифровых алгоритмов управления тяговой нагрузкой. Аналитические оценки показывают, что применение оптимальных режимов позволяет повышать долю используемой энергии рекуперации за счёт уменьшения потерь и оптимизации режимов движения [2]. Особенно заметный эффект достигается на участках с высокой плотностью пассажирского движения, где интервалы между поездами минимальны и вероятность непосредственного потребления энергии рекуперации другим подвижным составом возрастает.

Вместе с тем организационные меры имеют объективные ограничения, обусловленные пропускной способностью инфраструктуры и технологическими особенностями работы тяговых подстанций. В традиционном исполнении тяговые подстанции постоянного тока ориентированы на односторонний поток энергии — от энергосистемы к потребителю, что исключает возможность передачи избыточной энергии во внешнюю сеть. В этой связи одним из наиболее перспективных направлений является внедрение обратимых (инверторных) преобразовательных агрегатов, обеспечивающих передачу энергии рекуперации в питающую энергосистему при отсутствии локального потребителя.

Применение обратимых подстанций позволяет стабилизировать уровень напряжения в контактной сети, снизить долю энергии, рассеиваемой в тормозных резисторах, и повысить общий коэффициент использования рекуперации. В странах Европейского союза, в частности в Германии, подобные решения получили широкое распространение. Особенности системы электроснабжения переменного тока напряжением 15 кВ, 16,7 Гц обеспечивают технологически более простую реализацию возврата энергии в энергосистему,

что позволяет на ряде участков достигать уровня использования энергии рекуперации 70–80 %. Следует учитывать, что внедрение обратимых подстанций на полигонах постоянного тока сопряжено с необходимостью установки инверторных преобразователей с активным управлением, обеспечивающих синхронизацию с внешней энергосистемой. В отличие от систем переменного тока, где возврат энергии технологически более естественен, на участках 3 кВ требуется дополнительное силовое оборудование, что увеличивает капитальные затраты и предъявляет повышенные требования к системам защиты и автоматизации.

Следует отметить, что внедрение обратимых преобразовательных устройств сопровождается необходимостью анализа устойчивости энергосистемы и оценки влияния возврата энергии на параметры качества электроэнергии. Передача энергии рекуперации во внешнюю сеть требует согласования режимов работы с энергоснабжающими организациями и соблюдения нормативных требований по гармоническим искажениям и колебаниям напряжения. В связи с этим практическая реализация подобных решений предполагает комплексную модернизацию системы управления тяговыми подстанциями и внедрение цифровых средств мониторинга потоков мощности в режиме реального времени. Развитие интеллектуальных систем управления движением поездов и технологий цифровых двойников тяговых подстанций открывает дополнительные возможности для прогнозирования режимов генерации и потребления энергии. Использование алгоритмов предиктивного анализа позволяет заранее корректировать режимы движения поездов с целью максимального использования энергии рекуперации и минимизации потерь.

Дополнительным направлением повышения эффективности является применение накопителей электрической энергии, размещаемых в пределах межподстанционных зон либо на тяговых подстанциях. В работах В. Л. Незевака показано, что использование накопителей позволяет аккумулировать избыточную энергию рекуперации, сглаживать колебания напряжения и обеспечивать повторное использование энергии при разгоне поездов [3]. Накопители способствуют повышению энергетической устойчивости системы

тягового электроснабжения и снижению пиковых нагрузок на преобразовательное оборудование.

В зарубежной практике, в том числе в Великобритании, реализуются проекты «Wayside Energy Storage Systems», интегрируемые в интеллектуальные энергетические сети, система, представленная на рисунке 1. Такие решения позволяют не только повышать эффективность использования энергии рекуперации, но и снижать нагрузку на распределительные сети, обеспечивая элементы концепции Smart Grid. Российская практика внедрения накопителей пока носит пилотный характер, однако результаты моделирования и опытной эксплуатации свидетельствуют о значительном потенциале данных технологий.

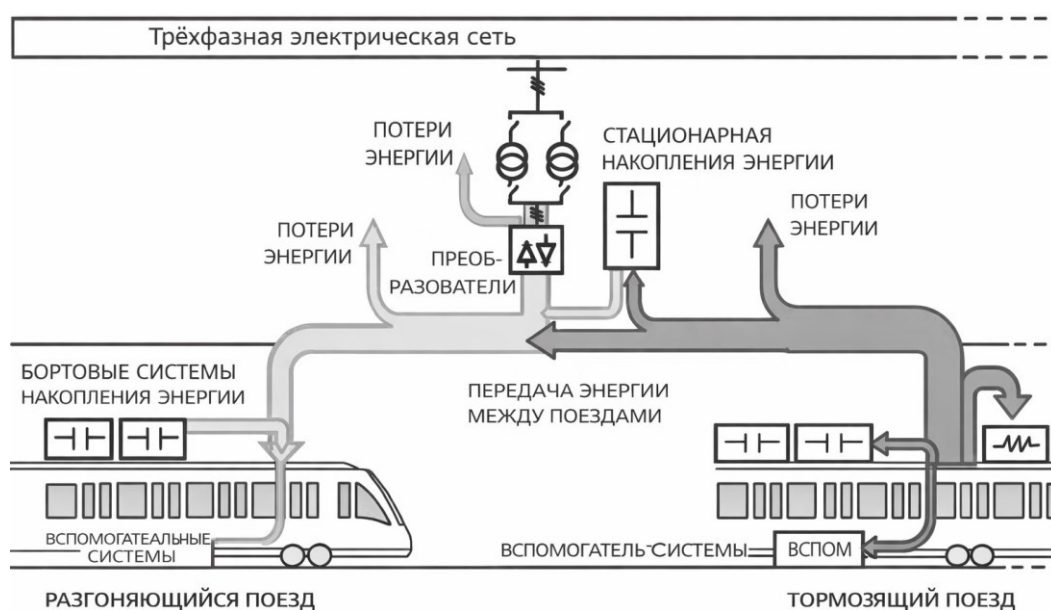


Рисунок 1 – Схема системы хранения электроэнергии

Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что наибольший эффект достигается при комплексном применении организационных и технических мер, включая цифровизацию тяговых подстанций, интеллектуальное управление потоками энергии и интеграцию железнодорожной инфраструктуры в региональные энергосистемы. Перспективным направлением является использование гибридных накопителей, сочетающих преимущества суперконденсаторов и аккумуляторных батарей, что позволяет обеспечить высокую мощность при достаточной энергоёмкости.

В современных условиях развития железнодорожного транспорта вопросы повышения энергетической эффективности приобретают не только

экономическое, но и стратегическое значение. Снижение удельного потребления электроэнергии на тягу поездов напрямую связано с уменьшением эксплуатационных затрат и повышением конкурентоспособности железнодорожных перевозок. Кроме того, рациональное использование энергии рекуперации способствует снижению нагрузки на энергетическую инфраструктуру регионов и уменьшению косвенных выбросов парниковых газов, что соответствует современным требованиям экологической устойчивости транспортных систем.

Таким образом, повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения следует рассматривать как многофакторную задачу, требующую системного подхода. Реализация комплекса организационных мероприятий, модернизация тяговых подстанций, внедрение обратимых преобразователей и накопителей энергии позволяют существенно увеличить коэффициент использования энергии рекуперации, снизить эксплуатационные затраты и повысить устойчивость функционирования системы тягового электроснабжения в целом. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку методов количественной оценки экономической эффективности внедрения накопителей и обратимых подстанций с учётом специфики различных типов участков железнодорожной сети.

Список литературы

1. Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения на полигоне постоянного тока: научная монография / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. Л. Каштанов, А. С. Вильгельм. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2016. – 176 с.
2. Черемисин, В. Т. Методика оценки использования энергии рекуперации / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 1(74). – С. 34-45.
3. Незевак, В. Л. Перспективы применения накопителей электрической энергии в системе тягового электроснабжения постоянного тока / В. Л. Незевак, В. Т. Черемисин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2015. – № 1(14). – С. 76-83.

М. М. Никифоров, К. А. Храпов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация

ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

В статье рассматривается вопрос обеспечения энергетической безопасности электрической тяги поездов. Представлены общие требования к обеспечению энергетической безопасности, задачи, которые необходимо для этого решить, сформулирован комплекс работ по обеспечению энергетической безопасности электрической тяги. Приведена шкала для оценки текущего уровня энергетической безопасности электрической тяги, а также меры по ее обеспечению на каждом уровне. Предложена общая схема обеспечения энергетической безопасности электрической тяги поездов и направления деятельности по ее обеспечению. Показано, что внедрение энергосберегающих мероприятия является одним из важных направлений обеспечения энергетической безопасности электротяги. Определены направления перспективных исследований для повышения уровня энергетической безопасности электрической тяги поездов.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, система тягового электроснабжения, электроподвижной состав, энергосбережение.

Система тягового электроснабжения является одной из ключевых в инфраструктуре железнодорожного транспорта, поскольку от надежности и эффективности ее работы зависят 85 % перевозок на сети железных дорог. Надежность работы системы тягового электроснабжения напрямую влияет на пропускную способность железных дорог и экономику перевозок и обеспечивает энергетическую безопасность железнодорожного транспорта в целом.

В силу физической природы затруднительно решать отдельно вопросы обеспечения энергетической безопасности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава, так как процессы передачи и потребления электроэнергии на тягу поездов взаимосвязаны и неразделимы.

В классическом виде обеспечение энергетическая безопасность согласно Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации характеризуется тремя главными факторами:

способность поставщиков обеспечить достаточного предложения экономически доступных и качественных энергоресурсов;

способность потребителей рационально расходовать энергоресурсы и ограничивать свой спрос;

способность системы поддерживать высокий уровень устойчивости к внешним возмущающим воздействиям и в условиях дефицита и нарушений внешнего энергоснабжения.

Из определения энергетической безопасности согласно [1] следует, что приоритетными для ее обеспечения являются следующие задачи [2]:

- поставка энергоресурсов согласно потребности;
- экономическая доступность энергоресурсов;
- качество энергоресурсов;
- бесперебойность поставок энергоресурсов.

Комплекс работ по обеспечению энергетической безопасности в общем случае включает в себя:

определение перечня возможных угроз энергетической безопасности;

разработка общих требований и методической базы для анализа степени выявленных угроз энергетической безопасности;

формирование перечня мер оперативного реагирования на изменение степени угроз энергетической безопасности.

Текущее состояние энергетической безопасности может оцениваться по следующей шкале:

- нормальный уровень;
- предкризисный уровень (ограничение энергоснабжения);
- кризисный уровень (чрезвычайная ситуация).

При нормальном уровне энергетической безопасности должны реализовываться плановые мероприятия по поддержанию работоспособности, а также мероприятия, направленные на повышение эффективности использования и снижение потерь электроэнергии на тягу поездов. При переходе к предкризисному состоянию требуется оперативное внедрение мероприятий по упреждению развития рисков, а при наступлении кризисного состояния – срочные действия по возвращению к нормальному состоянию и недопущению кризисных ситуаций.

Порядок исследования системы электрической тяги поездов с позиций обеспечения энергетической безопасности представлен в [3]. Схема обеспечения энергетической безопасности электрической тяги поездов приведена на рис. 1.

Оценка эффективности организационно-технических мероприятий, направленных на устранение угроз и повышение энергетической безопасности электрической тяги, должна выполняться дважды – на этапе проектирования до

внедрения мероприятия и за отчетный период после внедрения каждого мероприятия [4]. По результатам оценки эффективности мероприятий должны вноситься корректировки в систему обеспечения энергетической безопасности.

Деятельность по обеспечению энергетической безопасности применительно к электрической тяге поездов включает в себя следующие направления:

обеспечение надежного и бесперебойного функционирования (технической готовности) системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава;

реализация мер по управлению режимами электропотребления на тягу поездов;

совершенствование технологии электрической тяги и внедрение энергосберегающих технических средств и технологий.

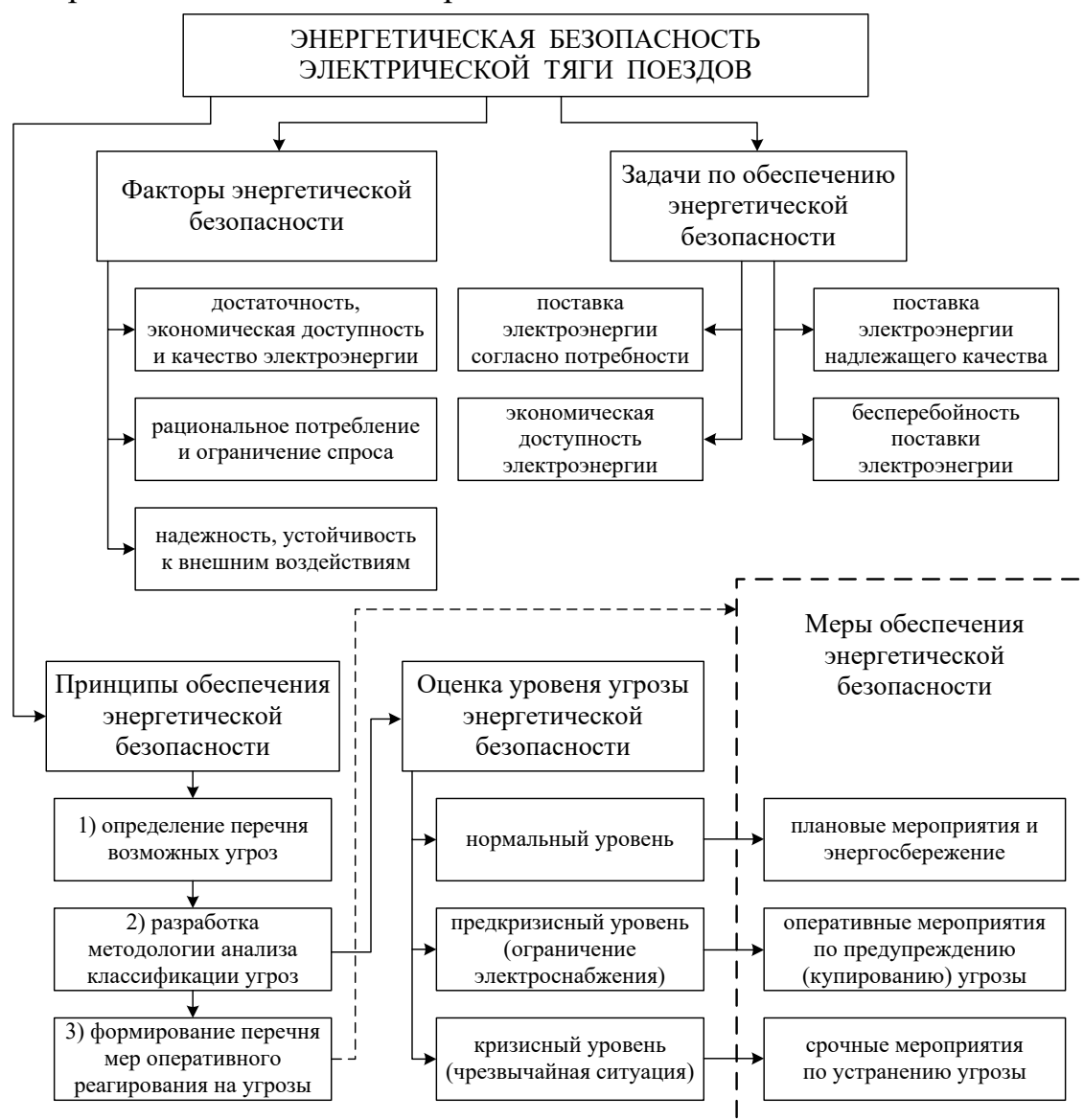


Рисунок 1 – Схема обеспечения энергетической безопасности электрической тяги поездов

В теории надежности технических систем постулируется, что абсолютная безопасность недостижима, поэтому основным критерием выступает уровень контролируемого риска. Применительно к системе электрической тяги это выражается через критерий избыточности (резервирования), то есть превышение сложности структуры системы по сравнению с минимально допустимым значением, необходимым для выполнения поставленной задачи [5]. Таким образом, критерием безопасности является не просто наличие резервного оборудования, а расчетная вероятность того, что при возникновении отказа система успеет перейти в безопасное состояние.

В настоящее время понятие энергетической безопасности расширено за счет включения в него энергетической эффективности. Высокая удельная энергоемкость перевозок рассматривается как фактор уязвимости (экономической и ресурсной). Соответственно, одной из ключевых составляющих энергетической безопасности электрической тяги является энергосбережение, поскольку оно снижает зависимость от внешних источников энергии, повышает эффективность и минимизирует риски дефицита электроэнергии, что крайне важно для электрической тяги поездов, так как ОАО «РЖД» не имеет собственных резервных генерирующих мощностей, достаточных для обеспечения питания электроподвижного состава в случае отключения системы тягового электроснабжения от питающих сетей ПАО «Россети».

Основными направлениями энергосбережения, позволяющими повысить уровень энергетической безопасности электротяги являются снижения потерь электроэнергии в оборудовании тяговых подстанций и контактной сети [6], применение энергосберегающих режимов ведения поездов [7] и рациональное использование энергии рекуперации [8].

Для тягового подвижного состава Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (ТР ТС 001/2011) введено требование об обеспечении соответствия требованиям энергоэффективности. Так, для магистральных электровозов постоянного и переменного тока эталонное значение энергоэффективности (удельный расход электроэнергии на тягу поездов по счетчикам электроподвижного состава) составляет 10 кг у.т./10 тыс. ткм брутто или 81,4 кВт·ч на 10 тыс. ткм брутто. С целью определения и последующего подтверждения уровня энергоэффективности электроподвижного состава в Омском государственном

университете путей сообщения была разработана методика определения и подтверждения индикатора энергетической эффективности для выпускаемых в настоящее время и перспективных серий электровозов [9].

Для совершенствования системы энергетической безопасности электрической тяги поездов необходимо выполнить классификацию возможных угроз, сформулировать критерии энергетической безопасности, разработать методику анализа и нормирования уровня энергетической безопасности и перечень типовых мероприятий при возникновении предкризисного и кризисного уровня угроз.

Список литературы

1. Воропай, Н. И. Энергетическая безопасность. Термины и определения / Н. И. Воропай. – Москва : Энергия, 2005. – 60 с.

2. Быкова, Е. В. Методология анализа энергетической безопасности / Е. В. Быкова // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2013. – № 2(13). – С. 138-144.

3. Никифоров, М. М. Обеспечение энергетической безопасности электро-тяги поездов на железнодорожном транспорте / М. М. Никифоров, С. Г. Шантаренко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3(95). – С. 130-138.

4. Никифоров, М. М. Методология оценки влияния энергосберегающих мероприятий по снижению потерь электроэнергии на энергобезопасность тяги поездов / М. М. Никифоров // Известия Транссиба. – 2024. – № 3(59). – С. 46-54.

5. Проневич, О. Б. Алгоритм расчета и прогнозирования показателей функциональной безопасности систем электроснабжения железнодорожного транспорта / О. Б. Проневич, В. Э. Швед // Надежность. – 2018. – Т. 18, № 3(66). – С. 46-55.

6. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности электротяги при внедрении мониторинга электроэнергии на фидерах контактной сети / В. Т. Черемисин, А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров // Транспорт Урала. – 2015. – № 2(45). – С. 67-70.

7. Оценка эффективности энергооптимального режима вождения для системы "беспилотного" движения электропоездов на Московском Центральном кольце / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм, С. Ю. Ушаков // Транспорт Урала. – 2020. – № 3(66). – С. 89-93.

8. Черемисин, В. Т. Методика оценки использования энергии рекуперации / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 1(74). – С. 34-45.

9. Никифоров, М. М. Определение индикатора энергоэффективности электровозов постоянного и переменного тока / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : Материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки, Омск, 06 февраля 2015 года / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 147-154.

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы двадцатой научной конференции,
посвященной Дню Российской науки

(9 февраля 2026 г.)

Ответственный за выпуск А. А. Евсеев

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 27.03.2026. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 16,1. Уч.-изд. л. 11,3.
Тираж 300 экз. Заказ .

* *

Типография ОмГУПСа

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35